



(Ф 03.02 – 91)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «**Робототехнічні системи та комплекси**»

Освітній ступінь «Магістр»

Галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Спеціалізація (ОП) : «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Укладачі:

д.т.н., професор
к.т.н., доцент

Лисенко О. І
Тачиніна О.М.
)

Конспект лекцій розглянутий та схвалений
на засіданні кафедри автоматизації та
енергоменеджменту

(повна назва кафедри)

Протокол № ____ від «__» ____ 20__ р.

Завідувач кафедри Захарченко В.П.

Список основних скорочень

- АЛ — автоматична лінія
АВ — автоматизоване виробництво
АВС — автоматизована виробнича система
АС — автоматизована система
АСКВО — автоматизована система контролю і вимірювання об'єкту
АСНД — автоматизована система наукових досліджень
АВС — автоматизована верстатна система
АСУ — автоматизована система управління
АСУВ — автоматизована система управління виробництвом
АСУТП — автоматизована система управління технологічним процесом
АТСС — автоматизована транспортно-складська система
АД — автоматизована ділянка
АЦ — автоматизований цех
БД — база даних
БЗ — база знань
БЗП — бункерно-завантажувальний пристрій
БнД — банк даних
ВВС — віртуальна виробнича система
ГАВ — гнучке автоматизоване виробництво
ГВМ — гнучкий виробничий модуль
ГВД — гнучка виробнича ділянка
ГВС — гнучка виробнича система
ВГ — вимірювальна головка
ІВК — інтегрований виробничий комплекс
КВМ — контрольно-вимірювальна машина
КТЕ — конструктивно-технологічний елемент
ММ — математична модель
МП — мікропроцесор
БВ — багатоцільовий верстат
УВС — узагальнена виробнича система
ЗВ — зворотний зв'язок
ОТС — організаційно-технічна структура
ВЗ — виробниче завдання
ВМ — виробничий модуль
ПР — промисловий робот
ВС — виробнича система
ПУ — програмне управління
ПЗ — програмне забезпечення
ВО — виробничий осередок
РВС — розподілена виробнича система
РК — робототехнічний комплекс

САК — система автоматизованого контролю
САП — система автоматичного програмування
САПР — система автоматизованого проектування
СДРІ — система діагностики ріжучого інструменту
СУ — система управління
СУБД — система управління базами даних
СЧПУ — система числового програмного управління
ТЗ — технічне завдання
ТО — технічний (технологічний) об'єкт
ТОБ — технічне обслуговування
ТОТ — операційна технологія, що типізується
ТП — технологічний процес
ТПВ — технологічна підготовка виробництва
ТС — технологічна система
ТЗД — технічний засіб діагностики
УП — програма, що управляє
ПЧПУ — пристрій числового програмного управління
ЧПУ — числове програмне управління
ЦПП — цифровий перетворювач переміщень
КД — кроковий двигун
ЕС — експериментальна система

Лекція №1

Тема лекції: «ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ - ОСНОВА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА У МАШИНОБУДУВАННІ»

План лекції

- 1.1. Характерні особливості сучасного машинобудування, структура курсу "ОАВ та СКЗ"
- 1.2. Особливості проектування технологічних процесів в умовах автоматизованого виробництва
- 1.3. Основні принципи побудови технології механічної обробки в автоматизованих виробничих системах
- 1.4. Типові і групові технологічні процеси
Класифікація деталей
Технологічність конструкцій виробів для умов автоматизованого виробництва
Типізація технологічних процесів і метод групового виготовлення деталей
- 1.5. Основні вимоги до технології і організації механічної обробки в переналагоджуваних автоматизованих виробничих системах
- 1.6. Особливості розробки технологічних процесів автоматизованого і роботизованого складання
- 1.7. Напрямки розвитку машинобудівного виробництва

Конспект лекції

- 1.1. Характерні особливості сучасного машинобудування, структура курсу "ОАВ та СКЗ"

Комплексна автоматизація виробництва є одним з основних напрямів технічної політики в нашій країні. Метою комплексної автоматизації є прискорення темпів підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції і підвищення її конкурентоспроможності, скорочення створення нових виробів.

Важливим напрямом єдиної технічної політики є широке використання інформаційних технологій, а також створення високопродуктивного і високоефективного виробництва, що володіє можливістю швидкого переналагодження при переході з управління одного типу виробу на інший, тобто створення гнучких виробничих систем (ГВС).

В даний час намітилися тенденції створення віртуальних виробничих систем на базі розподілених виробничих систем.

Широке використання інформаційних технологій робототехніки, верстатів з ЧПУ, систем управління виробничими об'єктами багато в чому сприяє підвищенню ефективності виробничих систем в машинобудуванні.

Метою дисципліни «Обладнання автоматизованого виробництва та системи його комп'ютерного забезпечення» є вивчення основ розробки високоефективних технологічних процесів автоматизованого виробництва, а також вибору основного та допоміжного обладнання для їх реалізації.

У пропонованому посібнику розглядаються питання, пов'язані з вирішенням завдань автоматизації виробничих процесів в машинобудуванні.

В лекції 1 викладені особливості проектування технологічних процесів в умовах автоматизованого виробництва. Розглянута суть типових і групових технологічних процесів.

В лекції 2 приведена методика побудови циклограм функціонування робототехнічних комплексів і гнучких виробничих модулів, описаний вибір верстатного обладнання і роботів, представлено інструментальне забезпечення і транспортно-складські системи. Дана структура виробничих систем.

В лекції 3 приведені показники і методи оцінки надійності, а також питання автоматизації контролю і діагностики.

В лекції 4 розглянуті завдання і методи автоматизації технологічних процесів збірки.

Автоматизація машинобудування тісно пов'язана з моделюванням роботи автоматизованих систем. В лекції 5 математичне моделювання розкрито як інструмент інформаційних технологій. Показано значення інтеграції підсистем проектування і використання концепції CALS-технології.

Управління виробничими процесами і об'єктами багато в чому визначає ефективність автоматизації (лекція 6).

Структурна перебудова автоматизованих виробництв тісно пов'язана з формуванням віртуальних виробничих систем в розподілених виробничих системах (лекція 7). Це завдання вирішується математичним моделюванням в розподілених виробничих системах (лекція 8). Реалізація розроблених моделей здійснюється багатооб'єктним автоматизованим технологічним проектуванням з інтелектуальним управлінням у віртуальних виробничих системах (лекція 9).

Автоматизація виробничих процесів має важливе значення на сучасному етапі розвитку машинобудування при становленні ринкових відносин. Основою виробничих процесів є автоматизовані технологічні процеси механічної обробки і збірки, які забезпечують високу продуктивність і необхідну якість виробів, що виготовляються.

Сучасне вітчизняне машинобудування повинне розвиватися у напрямі автоматизації виробництва з широким використанням ЕОМ і роботів, впровадження гнучких технологій, що дозволяють швидко і ефективно перебудовувати технологічні процеси на виготовлення нових виробів.

Автоматизація проектування технології і управління виробничими процесами — один з основних шляхів інтенсифікації виробництва, підвищення його ефективності і якості продукції.

Характерною ознакою сучасного виробництва є часта змінюваність виробів. При цьому вимоги до продуктивності в умовах дрібно- і середньосерійного виробництва значно зростають. Суперечності вимог мобільності і продуктивності знаходять дозвіл в створенні гнучких виробничих систем (ГВС). Висока ефективність виробництва досягається раціональним поєднанням обладнання, організацією транспортних операцій і управління ГВС. Роста випуск верстатів з ЧПУ і роботів, особливо з CNC - управлінням.

У роботизації намітився корінний поворот — від транспортно-завантажувальних роботів до технологічних: у конструкціях роботів використовуються підвісні конструкції, поворотні ланки, електромеханічні приводи і так далі.

Найбільш висока ефективність заходів щодо автоматизації виробничих процесів властива підприємствам, що характеризуються великою серійністю виробів, що випускаються, високою надійністю автоматизованих процесів, мінімальною частотою і тривалістю переналагоджень, мінімальними додатковими витратами на автоматизоване обладнання, з великим досвідом автоматизації.

Використання гнучких виробничих систем і технологічних модулів дозволяє виготовляти деталі у будь-якому порядку і варіювати їх випуск залежно від виробничої програми, скорочує витрати і час на підготовку виробництва, підвищує коефіцієнт використання обладнання, змінює характер роботи персоналу, підвищуючи питому вагу творчої, висококваліфікованої праці.

Намітилися три напрями, по яких йде вирішення проблеми підвищення ефективності інженерної праці у сфері проектування:

- раціоналізація системи проектування, включаючи систематизацію самого процесу проектування і поліпшення організації праці інженера-проектувальника;
- комплексна автоматизація розумово-формальних, нетворчих функцій інженера-проектувальника в процесі проектування;
- розробка імітаційних моделей для відтворення на ЕОМ розумової діяльності людини, його здатності приймати рішення в умовах повної і часткової невизначеності проектних ситуацій, розробки евристичних алгоритмів, що дозволяють якісно вирішувати складні завдання проектування при введенні певних обмежень.

Тенденцією сучасного етапу автоматизації проектування є створення комплексних систем автоматизованого проектування і виготовлення, що включають конструювання виробів, технологічне проектування, підготовку програм, що управляють, для обладнання з програмним управлінням,

виготовлення деталей, збірку вузлів і машин, упаковку і транспортування готової продукції.

Одним з шляхів до успішного впровадження системи CAD/CAM є реалізація принципів групової технології, заснованої на використанні обладнання, плануванні і організації виробництва за принципом технологічної спільності деталей.

Якщо випуск виробів здійснюється з використанням ГВС, то система автоматизації проектування технологічних процесів перш за все повинна забезпечувати їх гнучкість. Під гнучкістю розуміється можливість швидкого переходу на нові технологічні процеси у зв'язку із зміною чинників, що визначають якість деталей (точність, якість поверхневого шару і ін.), що випускаються, і продуктивність. При зміні конструктивних параметрів деталі технологічна система (технологічні системи) повинна (повинні) кількісно і якісно переналагоджуватися в стислі терміни при мінімальних витратах.

Таким чином, тенденцією сучасного етапу автоматизації проектування є створення комплексних систем, що включають конструювання виробів, технологічне проектування і виготовлення виробів в ГВС. Спроектований технологічний процес повинен оперативно реагувати на зміну виробничих ситуацій процесу виготовлення виробів.

Підвищення вимоги конкурентоспроможності продукції машинобудування вимагає нових продуктивних систем. Для цього створюють віртуальні виробничі системи (інформація про її структуру зберігається тільки в пам'яті ЕОМ) на основі розподілених виробничих систем (окремі виробничі системи, що організаційно не зв'язані між собою і мають технологічне обладнання). При цьому вирішуються завдання організації і управління.

Організація віртуальної виробничої системи безпосередньо пов'язана з технологічним змістом проектів, що реалізуються. Процеси організації віртуальної виробничої системи і технологічного проектування взаємозв'язані. Мають місце прямі і зворотні зв'язки інформаційних потоків. Створювана система управління функціонує, як правило, без участі людини.

1.2. Особливості проектування технологічних процесів в умовах автоматизованого виробництва

Основою автоматизації виробництва є технологічні процеси (ТП), які повинні забезпечувати високу продуктивність, надійність, якість і ефективність виготовлення виробів. З цієї точки зору великого значення набувають прогресивні високопродуктивні методи обробки і збірки, використовувані при проектуванні автоматизованих ТП.

При розробці ТП автоматизованого виробництва (АВ) розглядають комплексно всі його елементи: завантаження-вивантаження виробів, їх базування і закріплення, обробку, контроль, міжопераційне

транспортування і складування і ін. Тому для оцінки можливості і ефективності автоматизації важливо правильно класифікувати ТП.

Характерною особливістю ТП обробки і збірки є строга орієнтація деталей і інструменту щодо один одного в робочому процесі — перший клас процесів. Інші види обробки (термообробка, сушка, забарвлення і ін.), які не вимагають строгої орієнтації деталі, відносять до другого класу процесів.

Крім того, ТП по безперервності підрозділяють на дискретні і безперервні. Дискретні процеси характеризуються уривчастістю і строгою послідовністю робочих і холостих рухів, безперервні — не уриваючись, змінюються плавно, без стрибків (наприклад, безцентрове шліфування, протягування). Це розділення носить умовний характер, оскільки більшість процесів поєднує дискретність з безперервністю.

Для забезпечення високої продуктивності і надійності проводять диференціацію ТП, тобто ділять його на спрощені технологічні переходи (позиції). В міру можливості для зменшення довжини транспортних шляхів і числа операцій, а також через технічну доцільність здійснюють концентрацію переходів і позицій на єдиному устаткуванні в одну операцію. Ефективність цих заходів встановлюється техніко-економічними розрахунками, обов'язково супроводжуваними проектування ТП автоматизованого виробництва.

Розробка технологічних процесів АВ характеризується наступними особливостями:

- автоматизовані ТП включають не тільки різноманітні операції механічної обробки, але і обробку тиском, термообробку, збірку, контроль, упаковку, а також транспортно-складальні і інші операції;
- вимоги до гнучкості і автоматизації виробничих процесів диктують необхідність комплексного і детального опрацювання технології, ретельного аналізу об'єктів виробництва, опрацювання маршрутно-операційної технології, забезпечення надійності і гнучкості процесу виготовлення виробів із заданою якістю. Степінь подробиць технологічних рішень повинен бути доведений до рівня підготовки програм, що управляють, для обладнання;
- при широкій номенклатурі виробів технологічні рішення багатоваріантні;
- зростає ступінь інтеграції робіт, що виконуються різними технологічними підрозділами.

Насущні вимоги по вдосконаленню і скороченню термінів технологічної підготовки виробництва викликали необхідність в принципово новому підході до проектування ТП з використанням методів систем автоматизованого проектування (САПР). Підвищенню ефективності автоматизованої розробки ТП багато в чому сприяє раціональне поєднання типових і індивідуальних технологічних рішень на всіх стадіях проектування, а також високий рівень стандартизації і уніфікації виробів, обладнання і самих технологічних

процесів, що дозволяють створювати і використовувати відповідні бази даних на основі інформаційних технологій.

Впровадження гнучкої технології (технології переналагоджуваного виробництва) з широким використанням комп'ютерної техніки і переналагоджуваних засобів автоматизації дозволяє швидко і ефективно перебудовувати ТП на виготовлення нових виробів. Останнє вельми актуально в умовах дрібносерійного і серійного виробництва, переважаючого в машинобудуванні.

1.3. Основні принципи побудови технології механічної обробки в автоматизованих виробничих системах

Розкрити потенційні можливості АВС і забезпечити їх максимальну ефективність можна тільки тоді, коли проектуванню АВС передують глибокі технологічні розробки, дотримання основних принципів технології. Розглянемо деякі з них.

1. *Принцип завершеності* полягає в тому, що слід прагнути до виконання всіх операцій в межах однієї АВС без проміжної передачі напівфабрикатів в інші підрозділи або допоміжні відділення. Для реалізації принципу необхідні: забезпечення вимог по технологічності виробів; розробка нових уніфікованих методів обробки і контролю; розширення і обґрунтування типу обладнання АВС з підвищеними технологічними можливостями.

2. *Принцип малоопераційної технології* полягає у формуванні ТП з максимально можливим укрупненням операцій, з мінімальним числом операцій і установок в операціях. Для реалізації принципу необхідні ті ж заходи, що і для принципу 1, а також оптимізація маршрутів і операційної технології, застосування методів автоматизованого проектування ТП.

3. *Принцип «малолюдної» технології* полягає в забезпеченні автоматичної роботи АВС в межах всього виробничого циклу. Для реалізації принципу необхідні: стабілізація відхилень вхідних технологічних параметрів АВС (заготовок, інструментів, верстатів, оснащення); розширення і підвищення надійності методів операційного інформаційного забезпечення; перехід до гнучких адаптивних систем управління СУ ТП із статистичною корекцією УП.

4. *Принцип «безвідлагоджувальної» технології* полягає в розробці ТП, що не вимагають відладки на робочих позиціях. Принцип особливо актуальний для широкономенклатурних АВС, він близький до принципу 3. Для його реалізації необхідні ті ж заходи, що і для принципу 3.

5. *Принцип активно-керованої технології* полягає в організації управління ТП і корекції проектних рішень на основі робочої інформації про хід ТП. Коректувати можна як технологічні параметри, що формуються на етапі управління, так і початкові параметри технологічної підготовки виробництва (ТПВ). Для реалізації принципу необхідні: розробка методів і алгоритмів адаптивного управління ТП; розробка методів статистичної

корекції бази даних (БД) для створення самонавчальних АВС.

6. *Принцип оптимальності* полягає в ухваленні рішення на кожному етапі ТПВ і управлінні ТП на основі єдиного критерію оптимальності. Для реалізації принципу необхідні: розробка теоретичних основ оптимізації ТП; розробка алгоритмів оптимізації для умов роботи АВС; розробка спеціальних технічних, апаратних, програмних засобів реалізації вказаних алгоритмів. Принцип оптимальності створює єдину методичну основу вирішення технологічних завдань на всіх рівнях і етапах, дозволяє виробити найбільш ефективно, однозначно і взаємопов'язане вирішення вказаних завдань.

Крім розглянутих для технології АВС характерні і інші принципи: комп'ютерній технології, інформаційній забезпеченості, інтеграції, безпаперовій документації, груповій технології. Всі вони об'єднані в єдину систему ТПВ і управління, що дозволяє говорити *про створення принципово нової технології АВС*, що реалізовує найбільш ефективні технічні рішення і що максимально розкриває потенційні технічні і технологічні можливості АВС. Останній принцип групової технології є фундаментальним для всіх АВС, оскільки саме він забезпечує «гнучкість» виробництва.

1.4. Типові і групові технологічні процеси

Методи типової і групової технології, що дозволяють звести до мінімуму індивідуальні технологічні розробки, широко використовують при автоматизації ТПВ.

Типізація ТП для схожих по конфігурації і технологічним особливостям груп деталей передбачає їх виготовлення по однакових ТП, що заснованим на застосуванні найбільш досконалих методів обробки і забезпечують досягнення найвищої продуктивності, економічності і якості. Основу типізації складають правила обробки окремих елементарних поверхонь і правила призначення черговості обробки цих поверхонь. Типові ТП знаходять застосування головним чином у великосерійному і масовому виробництві.

Принцип групової технології лежить в основі технології переналагоджуваного виробництва — дрібно- і середньосерійного. На відміну від типізації ТП при груповій технології загальною ознакою об'єднання деталей в групи є спільність оброблюваних поверхонь і їх поєднань, тобто спільність обладнання, необхідного для обробки деталі або окремих її поверхонь. Очевидно, що до складу групи можна включати заготовки різної конфігурації і навіть різних типів.

У цьому сенсі поняття групи значно ширше за поняття типу деталей, побудови типового процесу, що є основою. Тому групові методи обробки характерні для обробки деталей з широкою номенклатурою.

І типізація ТП, і метод групової технології є основними напрямками уніфікації технологічних рішень, що підвищує ефективність виробництва. Для їх реалізації необхідні класифікація деталей, відробіток їх конструкцій на

технологічність з одночасною уніфікацією конструктивно-технологічних елементів (КТЕ) цих деталей.

Класифікація деталей

Класифікацію деталей проводять в цілях визначення груп технологічно однорідних деталей для їх сумісної обробки в умовах групового виробництва. Виконують її в два етапи: первинна класифікація — кодування деталей обстежуваного виробництва по конструктивно-технологічних ознаках; вторинна класифікація — групування деталей з однаковими або такими, що неістотно відрізняються ознаками класифікації.

Склад ознак встановлюють з урахуванням особливостей аналізованого виробництва. При класифікації деталей потрібно враховувати наступні ознаки: конструктивні — відповідно до класифікатора ЕСКД; габаритні розміри, масу, матеріал, вид обробки і заготовки; число операцій обробки; точні і інші показники, визначувані особливостями об'єктів дослідження.

Групування деталей по конструктивно-технологічних ознаках і вибір деталей-представників виконують методом зіставлення запитів на групування з перерахуванням ознак первинної класифікації в такій послідовності: вибір сукупності деталей на рівні класів, наприклад, тіла обертання для механооброблюваного виробництва; вибір сукупності деталей на рівні підкласу, наприклад, деталі типу валу; класифікація деталей по комбінації поверхонь, наприклад, вали з комбінацією гладких циліндрових поверхонь; групування по габаритних розмірах з виділенням областей з максимальною щільністю розподілу розмірів (рис. 1.1); визначення по діаграмі областей з найбільшим числом найменувань деталей.

Ці області формують групи по конструктивних ознаках; у таких групах визначають підгрупи із спільністю технологічних ознак; у кожній підгрупі вибирають типовий представник по критерію максимуму операцій ТП; виконують укрупнене нормування операцій обробки типового представника по кожній групі деталей.

При великій номенклатурі деталей і труднощах з виконанням кодування і групування допускається аналіз продукції, що випускається, по її основних групах. В цьому випадку по кожній групі деталей визначають деталь-представник, що має найбільше число загальних ознак, властивих деталям даної групи. Решта деталей є модифікаціями базової деталі.

Отриману в результаті класифікації деталей інформацію формалізують і використовують для формування БД по об'єктах виробництва. Застосування інформаційних технологій дозволяє використовувати ці БД при виборі технології, основного і допоміжного обладнання, оснащення і інструменту. При цьому значне спрощення і здешевлення конструювання і виробництва машин за рахунок різкого скорочення типажу пристосувань, ріжучого і

вимірjuвального інструментів, інструментальних наладок і використання типових технологічних модулів (модульній технології) можливо на основі уніфікації КТЕ деталей машин і точних параметрів.

Основою уніфікації деталей і елементів є їх класифікація по конструктивно-технологічних ознаках і подальший статистичний аналіз точних і геометричних параметрів деталей, що уніфікуються, і елементів. *Уніфікація конструктивних елементів* деталей і складальних одиниць полягає в системному підході до формування груп елементів по їх геометричним, точним, технологічним ознакам, виділенню обмеженої кількості типових представників цих груп на основі статистичного аналізу. Уніфікація елементів і їх параметрів повинна супроводжуватися ретельним аналізом функціонального призначення деталі і вузла, особливостей їх конструкції і експлуатації, технологічних можливостей виробництва, тобто уніфікація конструктивно-технологічних елементів (зовнішніх циліндрових поверхонь, розточувань, канавок, пазів і т. д.) повинна проводитися на стадії відробітку конструкцій виробів на технологічність.

Технологічність конструкцій виробів для умов автоматизованого виробництва

Оцінка і відробіток конструкцій виробів на технологічність — один з найважливіших етапів технологічної підготовки виробництва, і особливо автоматизованого. Конструкція виробу вважається технологічною, якщо для його виготовлення і експлуатації потрібні мінімальні витрати матеріалів, часу і засобів. Оцінку технологічності проводять по якісних і кількісних критеріях окремо для заготовок, оброблюваних деталей, складальних одиниць.

Для підвищення надійності автоматизованого виробництва (АВ) необхідно максимально наблизити форму і розміри заготовки до кінцевої форми і розмірів деталі, тобто забезпечити досягнення мінімальних припусків на кожній операції.

Деталі, що підлягають обробці в АВ, повинні бути технологічні, тобто прості формою, габаритами, складатися із стандартних поверхонь і мати максимальний коефіцієнт використання матеріалу. Деталі, що підлягають збірці, повинні мати якомога більше стандартних поверхонь, з'єднань, простих елементів орієнтації складальних одиниць і деталей.

Особливе значення мають питання технологічності деталей і складальних одиниць при обробці на верстатах з ЧПУ, в гнучких АВ. Тут особливе значення мають уніфікація і стандартизація форм, розмірів, умов обробки і збірки для використання типового обладнання і уніфікованих засобів автоматизації допоміжних операцій, наприклад захватів промислових роботів.

Типізація технологічних процесів і метод групового виготовлення деталей

Проведення типізації ТП для схожих по конфігурації і технологічним особливостям деталей передбачає їх виготовлення по однакових ТП, що засновані на застосуванні найбільш досконалих методів обробки і забезпечують досягнення найвищої продуктивності, економічності і якості.

Типові процеси розробляють на виготовлення в конкретних виробничих умовах типових представників груп виробів, що володіють загальними конструктивно-технологічними ознаками. До типових представників відносять ті вироби, обробка яких вимагає найбільшої кількості операцій, характерних для виробів даних груп. Типові ТП знаходять застосування головним чином у великосерійному і масовому виробництві.

Типізація ТП є одним з основних напрямів технологічної уніфікації разом з груповим методом обробки деталей. Групові ТП набули поширення в умовах одиничного, дрібносерійного і серійного виробництва. Частково їх застосовують в умовах великосерійного і масового виробництва для деталей з коротким виробничим циклом.

Методика типізації, заснована на класифікації деталей, їх елементів, ТП обробки і комплексному вирішенні всіх завдань, що виникають при виконанні процесів кожної класифікаційної групи, була вперше розроблена проф. А.П. Соколовським.

До класифікаційних ознак деталей відносять: конфігурацію (форма), розмір, точність і якість оброблених поверхонь, матеріал. Класифікація побудована по схемі клас — підклас — група — тип. На рис. 1.2 приведена схема класифікації деталей класу рейок. Кінцевою метою класифікації деталей є встановлення типів деталей, тобто сукупностей схожих деталей, що мають в даних виробничих умовах загальний ТП. Метою ж розробки типових технологічних процесів є систематизація ТП для обробки однотипних деталей.

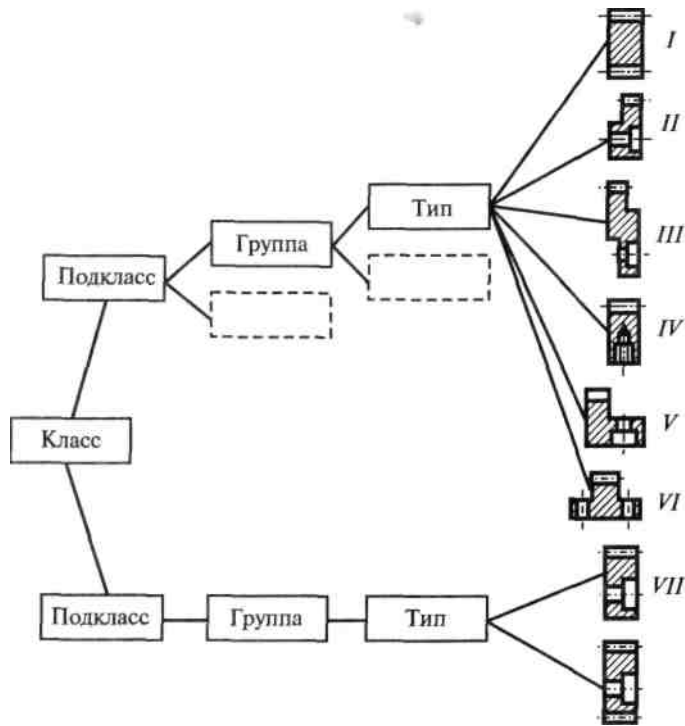


Рис.1.2. Схема класифікації деталей класу рейок

В даний час при типізації в основному використовують три напрями:

- 1) типізація ТП безвідносно до деталей виробництва, сам технологічний процес є основою класифікації і типізації;
- 2) типізація ТП, заснована на класифікації деталей;
- 3) типізація на основі поєднання типового ТП з класифікацією реальних деталей.

Перший напрям — типові ТП розробляють як зразковий, такий, що забезпечує застосування передової техніки і технології. Типовий процес служить базою для проектування нового обладнання. Напрямок застосовують при розробці нових ТП в таких виробництвах, як металургійне, литтєве, прокатне, хімічне.

Другий напрям — розробка типових ТП для реальних деталей — забезпечує найбільш прогресивні методи виготовлення деталей машин і приладів. Напрямок найбільш поширений в машинобудуванні.

Третій напрям — комбіноване — застосовують при коректуванні розроблених типових ТП, в окремих випадках міняється і конструкція деталей.

Незалежно від вказаних напрямів типові ТП розробляють як для конкретних виробничих умов (оперативний типовий процес), так і для перспективного розвитку виробництва — перспективний типовий ТП, що передбачає подальше вдосконалення виробництва з урахуванням розвитку науки і техніки в області технології. Необхідність розробки типових процесів визначається економічною доцільністю, залежною від кількості виробів в групах і частоти їх вживаності.

Створення типових ТП дозволяє уникати повторних і нових розробок при проектуванні робочих ТП, що веде до скорочення часу на технологічну підготовку виробництва і особливо ефективно при створенні БД типових ТП і використанні інформаційних технологій на стадії технологічних розробок.

Групові ТП — другий напрям уніфікації ТП (вперше запропоновані і розроблені проф. С.П. Митрофановим) знайшли широке застосування в різних галузях промисловості.

За основу методу, так само як і при типізації ТП, приймають технологічну класифікацію деталей, що закінчується формуванням груп. Проте побудова класифікації деталей для групової обробки істотно відрізняється від класифікації деталей при типізації ТП. Якщо при типізації процесів в загальний клас об'єднують деталі і заготовки за принципом спільності їх конфігурації, технологічного маршруту, окремих операцій, то при груповій обробці основною ознакою об'єднання деталей в групи по окремих технологічних операціях є спільність оброблюваних поверхонь або їх поєднань, тобто спільність обладнання, необхідного для обробки деталі або окремих її поверхонь. Очевидно, що до складу групи можуть включатися заготовки різної конфігурації (рис. 1.3). У цьому сенсі поняття групи значно ширше за поняття типу деталей, побудови типового процесу, що є основою. Тому групові методи обробки характерні для обробки деталей з широкою номенклатурою, типовою для одиничного, дрібносерійного виробництва. Саме у цих умовах даний метод створює всі необхідні передумови для організації групового виробництва, яке характеризується сумісним виготовленням або ремонтом груп виробів різної конфігурації на спеціалізованих робочих місцях.

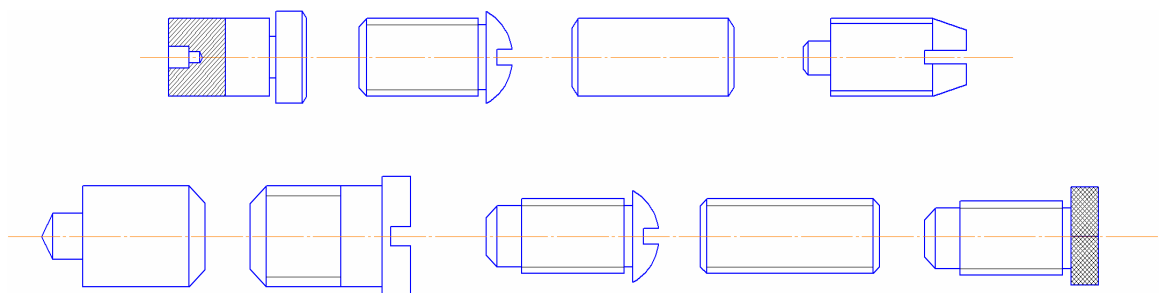


Рис.1.3. Приклади деталей, оброблюваних по одному груповому ТП

При формуванні груп деталей враховують наступні ознаки: спільність оброблюваних поверхонь, їх точність і шорсткість, однорідність матеріалу заготовок, близькість їх розмірів, що дозволяє обробляти деталі на одному і тому ж устаткуванні в однотипних пристосуваннях, серійність випуску і трудомісткість обробки деталей. В умовах одиничного, дрібносерійного виробництва в групи об'єднують до 60-80 деталей. Проводять економічний розрахунок розмірів груп і розробляють схему групової наладки кожного верстата для найбільш складної заготовки групи, що включає всі поверхні,

що зустрічаються у решті заготовок. Якщо у складних заготовок відсутні поверхні, характерні для інших простіших заготовок, то ці поверхні штучно додають в креслення. Таку ускладнену деталь називають комплексною. У даний час групові процеси розробляють для обробки деталей на токарних автоматах, револьверних, агрегатних і багатоопераційних верстатах (оброблювальних центрах).

Типізація ТП, методи групової обробки деталей дозволяють не тільки істотно скоротити трудомісткість технологічної підготовки виробництва, понизити витрати на обладнання і оснащення, але і забезпечують максимальне завантаження верстатів (завантаження верстатів з ЧПУ підвищується в 2,4 рази), підвищують серійність деталей. Саме ці напрями автоматизації виробництва роблять вельми перспективним створення комплексної системи типових ТП (модулів) і спеціалізованого обладнання, що агрегатується. Використання технологічних модулів може забезпечити вибір найбільш прогресивних ТП і на 30...35 % понизити трудомісткість їх розробки. Застосування конструкційних модулів дозволяє скорочувати терміни проектування нового обладнання в 3-4 рази, а також вибирати оптимальні конструкторські рішення.

1.5. Основні вимоги до технології і організації механічної обробки в переналагоджуваних автоматизованих виробничих системах

Для розробки технології в АВС характерний комплексний підхід — детальне опрацювання не тільки основних, але і допоміжних операцій і переходів, включаючи транспортування виробів, їх контроль, складування, випробування, упаковку.

Через необхідність і можливість швидкого переналагодження при серійному і дрібносерійному виробництві в АВС для кожної можливої деталі (вироби) або типорозміру повинна бути розроблена докладна технологія виготовлення з можливими відхиленнями, розроблені спеціальні або універсальні пристосування, зокрема супутникові. Умови транспортування, контролю, випробування, упаковки повинні бути відповідним чином визначені і запрограмовані. Це необхідно для забезпечення швидкого переходу з одного виробу на інше буквально протягом доби або зміни. Детальне опрацювання всього ТП припускає широку уніфікацію конструктивно-технологічних елементів оброблюваних деталей для забезпечення можливості змішаного агрегатування операцій і обладнання.

Для стабілізації і підвищення надійності обробки застосовують два основні методи побудови ТП:

- 1) використання обладнання, що забезпечує надійну обробку майже без участі оператора;

- 2) регулювання параметрів ТП на основі контролю виробів в ході самого процесу.

Для підвищення гнучкості і ефективності АВС переважно використовують принцип групової технології, що дозволяє обробляти на одному і тому ж устаткуванні велику групу різнотипних деталей з мінімальними витратами на переналагодження.

Вказані принципи реалізовані при створенні технології обробки основних типових деталей: корпусних і у формі тіл обертання.

При обробці корпусних деталей перевага віддається багатоінструментальним верстатам з ЧПУ типу «оброблювальний центр». При розробці технології для «оброблювальних центрів» враховують ряд пропозицій:

- технологічні переходи обробки елементарної поверхні деталі вибирають по технологічних схемах — комплексах послідовних технологічних переходів, необхідних для забезпечення необхідної якості обробки; призначають послідовність переходів: фрезерування зовнішніх і внутрішніх поверхонь, пазів, контурів; обробка основних і допоміжних отворів великого діаметру; обробка допоміжних отворів малого діаметру;

- забезпечують мінімальне число змін інструментів і поворотів столу з деталлю, особливо при обробці точних отворів з жорсткими допусками по розташуванню. Прагнуть до мінімальних змін відносного положення деталі і інструменту;

- забезпечують обробку базових поверхонь за одну установку;

- послідовність чорнових переходів визначають виходячи з умови зменшення $t_{\text{всп}}$; послідовність напівчистових і чистових переходів — виходячи із зменшення кількості змін положення інструменту і деталі в площині, перпендикулярній осі обробки. Послідовність переходів обробки точних поверхонь встановлюють з метою зменшення сумарної погрішності $\Delta_{\Sigma} = f(\Delta_i)$.

При збільшенні серійності випуску корпусних деталей їх обробку проводять на переналагоджуваних автоматичних лініях (АЛ), агрегатних верстатах, модулях із змінними агрегатними головками, оброблювальних центрах з використанням комбінованого інструменту, спеціальних пристосувань.

Обробку деталей у формі тіл обертання здійснюють в основному на токарних верстатах з ЧПУ і гнучких модулях на їх основі. Для поліпшення якості обробки широко застосовують перевірену в конкретних виробничих умовах операційну технологію, що типізується (ТОТ).

Основою побудови ТОТ обробки деталей на верстатах з ЧПУ є сукупність правил обробки окремих елементарних поверхонь. Операційна технологія, що типізується, повинна бути побудована так, щоб забезпечити для всього різноманіття деталей, закріплених за верстатом з ЧПУ, продуктивність і надійність обробки в автоматичному циклі.

Для створення ТОТ всю поверхню заготовки представляють у вигляді основних і додаткових поверхонь. *Основні поверхні*: циліндричні, конічні поверхні з криволінійними напрямними, неглибокі канавки. При їх освіті

видаляють 85-90 % всього припуску на обробку. *Додаткові поверхні:* канавки на внутрішніх і зовнішніх поверхнях, різьбові поверхні.

Незалежно від виду закріплення заготовки на верстаті (у кулачковому самоцентруючому патроні, в центрах з повідцем) застосовують наступний *маршрут обробки:* чорнова обробка основних поверхонь, підрізання торців; обробка додаткових поверхонь, що не вимагають чорнової обробки.

При обробці деталей у формі тіл обертання на токарних верстатах крупними серіями виявлені наступні особливості:

1) збільшення продуктивності за рахунок широкого застосування комбінованого інструменту (скорочення $t_{\text{осн}}$ і $t_{\text{всп}}$);

2) використання осьового мірного інструменту (розгортки, зенкера);

3) спрощення траєкторій переміщення інструментів;

4) скорочення числа поверхонь, що обробляються одним ріжучим елементом (різцем), перехід до багатоінструментальних наладок послідовної і паралельної дії.

Розглянуті особливості обробки корпусних деталей і деталей у формі тіл обертання можуть бути реалізовані при створенні технології їх обробки на автоматизованих ділянках (АД) і лініях. Залежно від серійності виробництва до складу ділянок і ліній можуть входити верстати з ЧПУ, роботизовані модулі, агрегатні верстати, спеціальне і спеціалізоване технологічне обладнання.

При обробці деталей на автоматичних лініях — комплексах взаємозв'язаного обладнання і систем управління, що безперервно діють, — необхідно забезпечувати тимчасову синхронізацію операцій і переходів. Найбільш ефективними методами синхронізації є концентрація і диференціація ТП.

Диференціація ТП, спрощення і синхронізація переходів є необхідними умовами надійності і продуктивності. Проте є свої раціональні межі диференціації ТП і спрощення переходів. Надмірна диференціація приводить до ускладнення обслуговуючого обладнання, збільшення площі і об'єму обслуговування.

Доцільну концентрацію операцій і переходів, не знижуючи практично продуктивність, можна здійснити шляхом агрегування і застосуванням багатоінструментальних наладок.

Для синхронізації роботи в АЛ виділяють лімітуючий інструмент, лімітуючий верстат і лімітуючу ділянку, по яких визначається реальний такт випуску АЛ, мін, по формулі

$$\tau = \frac{60\Phi}{N},$$

де Φ — дійсний фонд роботи обладнання, ч; N — програма випуску, шт.

Для забезпечення високої надійності АЛ ділять на ділянки, які зв'язані один з одним через накопичувачі, що здійснюють так званий гнучкий зв'язок між ділянками, забезпечуючи незалежну роботу суміжних ділянок у разі відмови на одному з них. У середині ділянки зберігається жорсткий зв'язок, який структурно простіше. Для обладнання з жорстким зв'язком важливо планувати час і тривалість планових зупинок, наприклад, для групової зміни інструменту, ремонту, обслуговування. Оптимальна кількість обладнання усередині ділянки, кількість ділянок, ємності проміжних накопичувачів визначають розрахунковим шляхом, виходячи із забезпечення максимальної продуктивності і мінімальної вартості лінії.

1.6. Особливості розробки технологічних процесів автоматизованого і роботизованого складання

Для технологічної підготовки складального виробництва, так само як і для механообробки, характерний комплексний підхід. Він має на увазі ретельне опрацювання технологічності виробу, типізацію процесів збірки, опрацювання допоміжних процесів транспортування збираних виробів, їх установки на складальних позиціях, контролю і випробування, широке впровадження нормалізованого і переналагоджуваного складального обладнання.

Важливою умовою розробки раціонального ТП автоматизованої збірки є уніфікація і нормалізація з'єднань, тобто приведення їх до певної номенклатури видів і точності. На основі уніфікації і нормалізації з'єднань в складальних одиницях і виробих розробляють типові складальні процеси (операції і переходи), що виконуються на типовому складальному устаткуванні з використанням типових інструментів і пристосувань.

В умовах великосерійного і масового виробництва автоматизована збірка виробів виконується на складальних автоматах і АЛ. Залежно від складності виробів використовують одно- і багатопозиційні складальні автомати. Останні застосовують, наприклад, при збірці підшипників кочення. У лініях складальні автомати розміщують лінійно або по замкнутому контуру. Переміщення виробів здійснюється за допомогою крокових транспортерів або на пристосуваннях-супутниках.

Головною відмінністю роботизованого виробництва є заміна складальників складальними роботами і виконання контролю контрольними роботами або автоматичними контрольними пристроями.

Якщо в умовах АВ збірку виробів можна виконувати методом повної або часткової взаємозамінності, із застосуванням методів селективної збірки і використанням контрольно-сортувальних автоматів а також з обмеженим застосуванням методів пригону і регулювання, то роботизована збірка повинна виконуватися за принципом повної взаємозамінності або (рідше) за принципом групової взаємозамінності. При цьому виключається можливість підгонки, регулювання. Строго повинні бути дотримані принципи вибору і

постійності баз, які визначають якість збираних виробів і надійність роботи складальних робототехнічних комплексів (РТК). Основні етапи автоматизованої збірки:

- автоматична орієнтація деталей і основних частин виробу для використання автоматизованих транспортно-захватних пристроїв, контроль і очищення деталей;
- автоматичне виконання з'єднань;
- транспортування деталей і вузлів;
- міжопераційний контроль;
- остаточний контроль;
- упаковка.

Виконання операцій збірки повинне проходити від простого до складного: деталей — в підвузли, підвузли — у вузли, вузли — в агрегати, вузли і агрегати — у виріб, що враховується при складанні схем збірки. Залежно від складності і габаритів виробів вибирають форму організації збірки: стаціонарну або конвеєрну. Стаціонарна збірка можлива без переміщення виробу, з підведенням складальних вузлів і деталей до базової складальної одиниці (деталі, вузлу і т. д.). Конвеєрна збірка можлива, коли роботи обслуговують робочі місця з різним орієнтуванням і погрішністю позиціонування деталей і вузлів.

У структуру роботизованого комплексу повинні входити складальне обладнання і пристосування, об'єднані з транспортно-загрузочною системою і системами управління різних рівнів і розташовані в технологічній послідовності, тому для визначення структури і складу РТК необхідні розробка і оптимізація загальної і вузлової збірки. До складу РТК входять складальне обладнання і пристосування, транспортна система, операційні складальні роботи, контрольні роботи, система управління.

При розробці ТП збірки в РТК переважна висока концентрація операцій, що визначає моделі роботів, їх функції, точність, оперативність, швидкодію. Особливо важливо уточнити тимчасові зв'язки елементів РТК, оскільки і вони можуть визначити операційні можливості, моделі і кількість складальних промислових роботів (ПР). З цією метою можливо і доцільна побудова циклограми як окремих роботизованих робочих місць і ПР, так і РТК в цілому. На основі операційної технології і циклограм РТК може бути проведена підготовка програм, що управляють, для складальних роботів з ЧПУ і для всього РТК.

Перспективним напрямом роботизації збірки є використання ПР, побудованих за блоково-модульним принципом, а також навчальних ПР. В системи модулів ПР, як правило, включають модулі лінійних і кутових переміщень, комплекти перехідних елементів для з'єднання модулів, змінні захватні пристрої. На рис. 1.4 приведені схеми системи модулів і компоновок роботів типу ПР5-2 з різними мірами свободи. Уніфікація модулів дозволяє істотно збільшити число їх модифікацій, понизити витрати на автоматизацію складального виробництва.

Навчальні роботи — це роботи, які можуть пристосовуватися до різних випадкових чинників, супроводжуючих запрограмовану роботу. Ця пристосовність виражається в коректуванні своєї ж програми на основі отриманого «досвіду» — результатів аналізу і класифікації виникаючих відхилень і методів їх усунення.

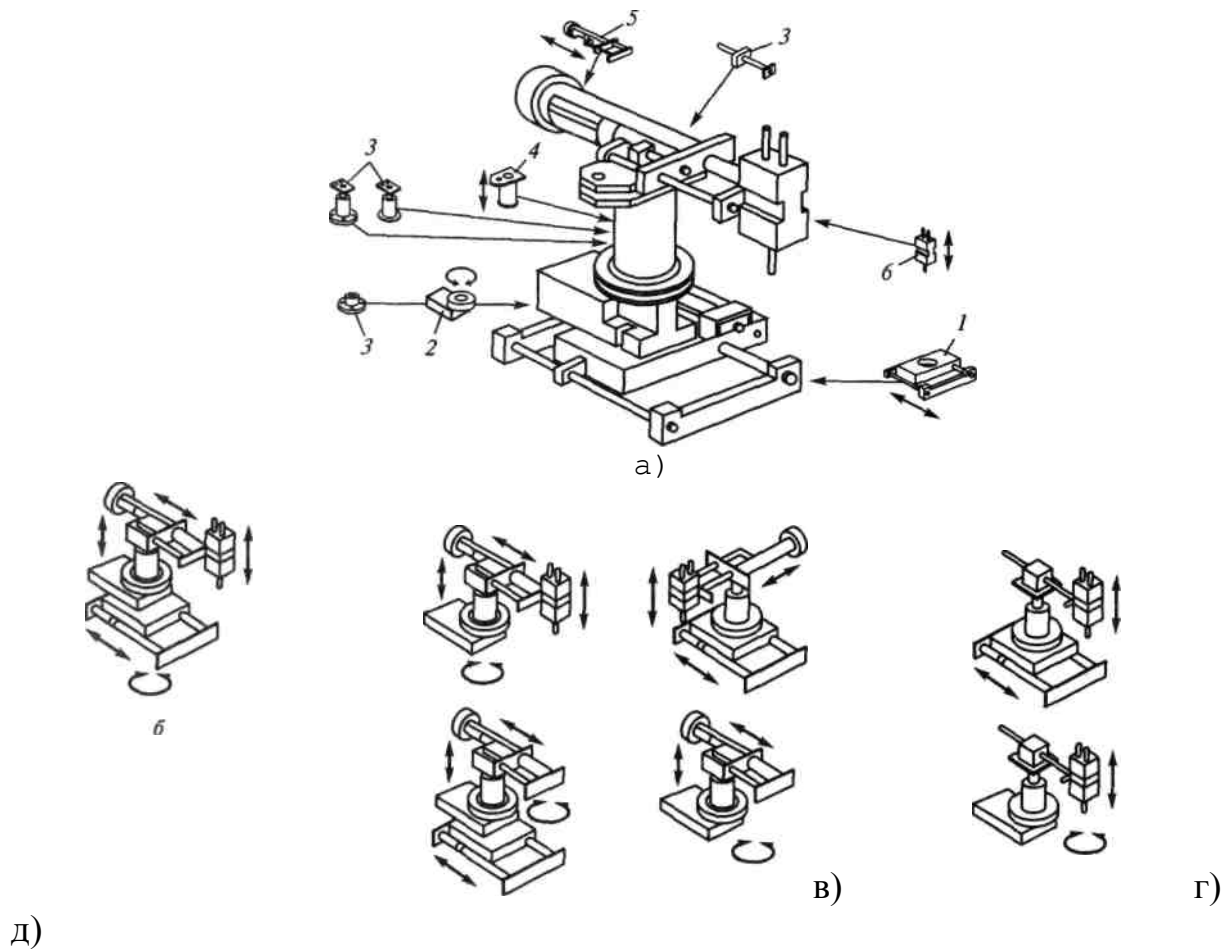


Рис.1.4. Схеми системи модулів (а) і компоновок з п'ятьма (б), чотирма (в), трьома (г) і двома (д) ступенями рухомості роботів типу ПР5-2

1.7. Напрямки розвитку машинобудівного виробництва

Тип виробничих структур машинобудівних підприємств, що склався, характеризує ряд ознак:

- відсутність яскраво вираженої технологічної спеціалізації машинобудівних виробництв;
- розпиленість технологічних ресурсів;
- у багатьох випадках надмірність або недостатність потужностей виробничих систем;
- відсутність гнучкості виробничих систем під час переходу підприємства до випуску нової продукції.

Наочна спеціалізація по підприємствах лежала в основі галузі. Перехід на випуск принципово нової продукції в цих умовах вимагає корінної перебудови із залученням додаткових інвестицій, отримання яких утруднене.

На зміну постійним організаційним структурам промислових підприємств наочної спеціалізації повинна прийти змінна структура на основі так званої матриці, що перманентно-змінюється. Промислове виробництво представляється як система підприємств корпоративного типу, що складається з головного підприємства, що визначає вид продукції, що випускається, і набору технологічно спеціалізованих підприємств. Склад і кількість таких підприємств визначаються видом виробів, що виготовляються. Така структура легко змінюється залежно від запитів ринку. Її формування тісно пов'язане з особливостями сучасного машинобудівного виробництва:

- формується сфера інформаційних технологій інжинірингу, ринку надання інформаційних послуг, які перетворюються на самостійну галузь, що має пріоритетне значення для розвитку машинобудування; наука стає самостійним елементом продуктивних сил суспільства. Ростає об'єм виробництва наукоємних виробів. Їх розробки базуються на випереджаючих фундаментальних дослідженнях, а не на раніше домінуючому емпіричному підході до створення нових виробів;

- як найважливіший чинник розвитку підприємств виступає конкуренція при регулюючій ролі держави;

- відбувається реструктуризація підприємств на основі ринкових законів економіки. Структура підприємства забезпечує виконання повного життєвого циклу виробів. Корпоративні прагнення знаходять розвиток у вигляді створення віртуальних підприємств;

- індивідуалізація замовлень, часта зміна моделей виробів приводять до підвищення трудомісткості технологічної підготовки виробництва і відносного зменшення трудомісткості самого виробництва;

- основними показниками ефективності діяльності підприємств стають: час і надійність термінів виконання замовлень, якість і собівартість виробів;

- зростає роль інформаційних технологій інжинірингу, істотним чином тих, що впливають на всі основні показники економіки підприємства;

- розвиток кооперації між підприємствами, розширення ринків збуту виробів приводять до необхідності створення для виробництва єдиної інформаційної бази.

Таким чином, сучасний етап розвитку машинобудування характеризується необхідністю забезпечення конкурентоспроможності вироблюваної продукції, що означає оперативне реагування виробництва на зміну споживчого попиту, зниження собівартості її випуску при істотному скороченні термінів випуску і забезпечення якості. Ця проблема передбачає рішення задачі скорочення часу на ТПВ, пов'язаного перш за все із збільшенням номенклатури продукції, що випускається, при зниженні величин

партій, що вимагає створення швидкопереналагоджувальних виробничих систем (ВС).

В умовах серійного виробництва ВС орієнтовані на можливість випуску достатньо широкої номенклатури виробів. Кожна з існуючих ВС спочатку орієнтована на випуск певних видів виробів. При цьому доводиться говорити про ВС, як про розподілені виробничі системи (РВС). Під РВС мають на увазі окремі ВС, організаційно не зв'язані між собою, такі, що містять в своєму складі технологічне обладнання, необхідне для виконання ТП виготовлення конкретного виду заданої для них продукції.

Останнім часом швидкість організаційних перебудов в проектних організаціях істотно випереджає швидкість перебудови на промислових підприємствах, посилюється конкуренція. Все це гостро ставить питання розробки методів забезпечення швидкої перебудови і адаптації ВС для виконання створюваних проектів, причому виконання таких проектів повинне передбачати виготовлення деталей широкої номенклатури різної кількості.

Вироби з великим об'ємом випуску також доцільно починати виготовляти на гнучкому виробництві, починаючи з малих програм. Це дозволить «довести» конструкцію виробу, відпрацювати технологічність оригінальних деталей, прискорить терміни впровадження і нарощування об'єму випуску. При цьому переклад виготовлення деталей з «гнучкої» технології на основну може відбуватися поетапно у міру запуску обладнання на окремих операціях. Верстати, що вивільняються при цьому, в «гнучкому» виробництві будуть задіяні на розвиток потужностей операцій, що залишилися. І так до повного перекладу на основне виробництво.

Поява ринку проектних послуг конструкторськими бюро висуває вимогу формування ВС, здатних реалізувати проекти, що розробляються, в короткі терміни при забезпеченні заданих параметрів. Час життєвого циклу проекту може бути достатнє малим, тому проводити фізичну перебудову існуючих ВС для їх реалізації виявляється неможливим. Крім того, при реалізації декількох проектів, а у багатьох випадках навіть одного потрібне одночасне виготовлення невеликої кількості деталей різної номенклатури. Тут доводиться говорити про багатооб'єктне проектування і виготовлення, при цьому формована ВС повинна бути об'єктно-орієнтованою.

Формування ВС традиційними методами, пов'язаними з матеріальними перебудовами існуючих ВС, для цих цілей виявляється неприйнятним. Виникає необхідність в пошуку нових підходів до процесів формування ВС з необхідними властивостями без здійснення трудомістких матеріальних перебудов.

Підходом до рішення даної проблеми є забезпечення можливості створення ВС на базі тих, що існують, шляхом проведення заходів, що використовують тимчасові (на період життєвого циклу проекту) організаційні зв'язки, без трудомістких матеріальних перебудов. Матеріальною основою такої ВС є сукупність технологічного обладнання РВС в рамках фонду їх вільного часу. Зважаючи на те що при побудові такої ВС відсутні матеріальні

зміни в РВС, а інформація про її структуру формується і зберігається тільки в пам'яті ЕОМ, така ВС є віртуальною виробничою системою (ВВС), при цьому забезпечується значне скорочення термінів її створення.

Інформація про параметри вільних частин РВС може бути представлена в електронному вигляді і поширена за допомогою різних інформаційних мереж, зокрема глобальній мережі Інтернет. У цьому випадку можна говорити про формування ринку послуг РВС.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає специфіка розробки ТП АВ?
2. Назвіть переваги стандартизації і уніфікації виробів, обладнання, технологічних процесів.
3. Перерахуйте основні вимоги, що пред'являються до технології збірки в умовах дрібносерійного автоматизованого виробництва.
4. Назвіть основні підходи до проектування технології виготовлення виробів в АВС.
5. Перерахуйте основні принципи побудови технології в АВС. Вкажіть їх призначення і шляхи реалізації.
6. Що є основою типізації ТП? Де застосовують типові ТП?
7. Назвіть основні напрями, які використовують при типізації ТП.
8. Поясніть відмінність класифікації деталей в дрібно- і великосерійному виробництві.
9. Перерахуйте критерії оцінки технологічності виробів. Для чого проводять відрізок конструкцій виробів на технологічність?
10. Що є основою побудови групової технології? Де її застосовують?
11. Приведіть приклади використання методів типізації і групової технології при обробці типових деталей.
12. Що таке модульна технологія?
13. Перерахуйте напрями розвитку машинобудівного виробництва.

Лекція №2

ТЕМА ЛЕКЦІЇ: «ОСНОВНЕ ТА ДОПОМІЖНЕ ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА»

План лекції

2.1. Технологічне обладнання і принципи побудови автоматизованих виробничих систем

2.2. Вибір технологічного обладнання і промислових роботів в автоматизованому виробництві

Вибір основного технологічного обладнання

Вибір промислових роботів для обслуговування технологічного обладнання

Методика побудови циклограм функціонування робототехнічного комплексу (РТК)

2.3. Автоматизація завантаження, транспортування і складування виробів в умовах автоматизованого виробництва

Завантажувальні пристрої автоматизованих систем

Транспортні пристрої автоматизованих систем

Технічні засоби автоматизованих транспортних систем

Вибір транспортно-складських систем для автоматизованих виробництв

2.4. Особливості конструкцій інструменту і пристосувань в автоматизованому виробництві

Інструментальне оснащення АВС

Розмірна настройка інструменту

Застосування пристосувань в умовах автоматизованого виробництва

2.5. Компонувальні схеми автоматизованих виробничих систем

Конспект лекції

2.1. Технологічне обладнання і принципи побудови автоматизованих виробничих систем

Залежно від галузі і типу виробництва АВС створюють на базі різного обладнання: універсального, агрегатного, спеціального і спеціалізованого, автоматів, напівавтоматів, оброблювальних центрів, верстатів з ЧПУ, об'єднаного гнучкими або жорсткими транспортними пристроями. Для серійного і дрібносерійного виробництва характерне застосування автоматизованих систем з універсальних і агрегатних верстатів, оброблювальних центрів, верстатів з ЧПУ з гнучким зв'язком, що припускає наявність міжопераційних накопичувачів. Для великосерійного і масового виробництва характерне створення АЛ із спеціальних і спеціалізованих верстатів, об'єднаних жорстким зв'язком, який встановлюється при великій диференціації технологічного процесу, високій надійності обладнання. Для

цих типів виробництва характерне застосування і роторних ліній, які складаються з агрегатів (роторів), що обертаються, виконують робочі і транспортні операції відповідно на робочих і транспортних роторах. Роторні лінії бувають з жорстким і з гнучким (з накопичувачами) зв'язком між роторами. Розробляються конструкції переналагоджуваних роторів і АЛ з них, що дозволить використовувати їх в переналагоджуваному виробництві.

Переналагодження обладнання в умовах багатомономенклатурного виробництва можливе за рахунок побудови АВС за модульно-агрегатним принципом, коли і основне, і допоміжне обладнання komponують з типових модулів, агрегатів, механізмів і ін. Прикладами такого обладнання є агрегатні верстати, автоматизовані потокові лінії з агрегатних верстатів, промислові роботи блоково-модульних конструкцій.

По міжверстатному транспорту розрізняють наступні АЛ:

- з наскрізним транспортом без перестановки виробу;
- з транспортною системою з перестановкою виробу;
- з транспортною системою з накопичувачами.

По видах компоновки (агрегування) розрізняють наступні АЛ:

- однопотокову;
- паралельного агрегування;
- багатопотокову;
- скомпоновану з роботизованих осередків.

Такі АЛ отримали переважний розвиток завдяки можливості створення переналагоджуваних виробництв.

Число позицій в АЛ залежить від ступеня диференціації і концентрації, його підраховують і вибирають оптимальним з погляду отримання найбільшої продуктивності і надійності. Критерієм вибору різних компоновок, структури, складу АЛ з урахуванням характеристик і функціонального взаємозв'язку є кінець кінцем продуктивність і гнучкість АЛ.

Високі темпи технічного прогресу вимагають такого технічного оснащення виробництва, яке могло б встигати за технічним прогресом, тобто мати високу мобільність (можливість випуску широкої номенклатури і типів деталей і виробів). Ця характерна межа серійного виробництва набуває важливої ролі в машинобудуванні і в інших галузях промисловості.

З цією метою створюють переналагоджувані виробничі системи з автоматизованим переналагодженням при виробництві виробів довільної номенклатури. Організаційними рівнями таких систем є виробничий модуль, АЛ, автоматизована ділянка (АД), автоматизований цех (АЦ).

Виробничий модуль (ВМ) — система, що складається з одиниці технологічного обладнання, оснащена автоматизованим пристроєм програмного управління (ПУ) і засобами автоматизації технологічного процесу, яка автономно функціонує, і її можна вбудовувати в систему більш високого рівня. У модуль може входити верстат з ЧПУ або оброблювальний центр, контрольно-вимірвальна система, навантажувально-

розвантажувальна і транспортно-накопичувальна система з локальним управлінням технологічної одиниці обладнання. Структурні компоненти виробничого модуля зображені на рис. 2.1.

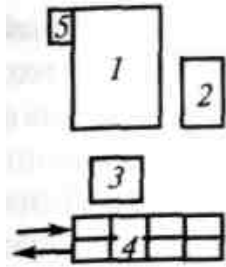


Рис.2.1. Структурні компоненти ВМ:
 1 – верстат з ЧПУ; 2 – керуючий пристрій; 3 –
 завантажувально-розвантажувальний пристрій; 4 –
 транспортно-накопичувальний пристрій;
 5 – контрольно-вимірний пристрій.

Виробничий осередок (ВО) — окремий випадок ВМ — комбінація з елементарних модулів з єдиною системою вимірювання, інструментозабезпечення, транспортно-накопичувальною і завантажувально-розвантажувальною системами, з груповим управлінням. ВО, як і ВМ, можна вбудовувати в систему більш високого рівня. Структурні компоненти ВО зображені на рис. 2.2.

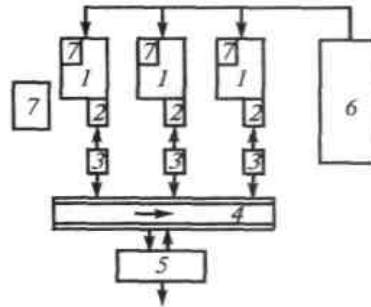


Рис.2.2. Структурні компоненти гнучкого ВО:
 1 – верстат з ЧПУ або оброблюваний центр; 2 – стіл; 3 -
 завантажувально-розвантажувальний пристрій; 4,5 – транспортно-
 накопичувальний пристрій(4 – конвеєр, 5 - накопичувач);
 6 – керівна ЕВМ; 7 - контрольно-вимірний пристрій

Автоматизована лінія АЛ — переналагоджувана система, що складається з декількох ВМ або (і) ВО, об'єднаних єдиною транспортно-складальною системою і системою АСОВІ ТП. Обладнання АЛ розміщують в прийнятій послідовності технологічних операцій. Структурні компоненти АЛ зображені на рис. 2.3.

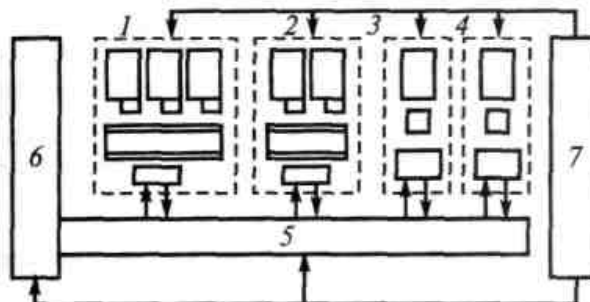


Рис.2.3. Структурні компоненти гнучкої АЛ:
 1,2 – виробничі ящики; 3,4 – виробничі модулі;

5 – транспортна система; 6 – склад; 7 - керована ЕВМ

На відміну від АЛ на переналагоджуваній *автоматизованій ділянці* (АД) передбачена можливість зміни послідовності використання технологічного обладнання. Як АЛ, так і АД можуть містити окремо функціонуючі одиниці технологічного обладнання. Структурні компоненти АД зображені на рис. 2.4.

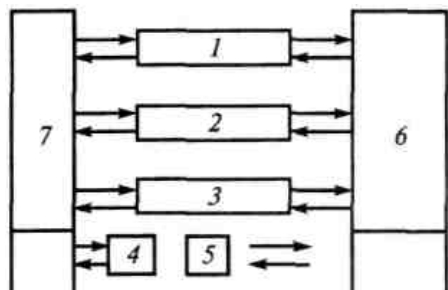


Рис.2.4. Структурні компоненти гнучкої АД:
1 - 3 – АЛ; 4 – ВО; 5 – ВМ; 6 – склад; 7 - керована ЕВМ

Кожен структурний компонент гнучких систем технічно є закінченим цілим і має свою локальну систему управління, що дозволяє йому ефективно функціонувати як індивідуально, так і у складі переналагоджуваного виробництва і перш за все у складі *автоматизованого цеху* (АЦ), що складається з ВМ, ВО, АЛ і АД, об'єднаних єдиною автоматизованою системою управління (АСОВІ), призначеною для виготовлення виробів заданої номенклатури. До складу АЦ можуть входити окремо функціонуючі неавтоматизовані ділянки.

На базі великих АД і АЦ можна організувати комплексно-автоматизоване переналагоджуване виробництво з використанням САПР, автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва (АСТПВ), автоматизованих систем управління виробництвом (АСУВ), автоматизованих систем наукових досліджень (АСНД), автоматичних систем контролю і вимірювання (АСКВ) і інших систем, що функціонують на базі сучасних CALS - технологій.

2.2. Вибір технологічного обладнання і промислових робіт в автоматизованому виробництві

Вибір технічних засобів для автоматизованого виробництва — один з найважливіших етапів, що визначають структурно-компонувальні рішення, організаційні і технологічні можливості, експлуатаційні витрати і інші показники виробництва.

Початковою інформацією для вибору обладнання і ПР є відомості про деталі, що виготовляються, і організаційно-технологічні умови їх виготовлення. Підбір і групування деталей для виготовлення на автоматизованій ділянці проводять з урахуванням таких характеристик:

1) конструктивно-технологічної подоби деталей (за габаритними розмірами, масою, конфігурацією, конструктивними елементами, точністю обробки і якістю оброблюваних поверхонь, числом останніх;

2) ступеню завершеності маршруту обробки деталей на автоматизованій ділянці — без переривання маршруту обробки для виконання яких-небудь

специфічних операцій (термообробки, доведення і ін.);

3) подоби використовуваного оснащення і інструментів;

4) наявності у деталей чітко виражених елементів для орієнтації та базування у пристосуваннях-супутниках або у захватних пристроях ПР.

Підібрана група деталей з урахуванням річної програми випуску, частоти повторюваності кожного типорозміру, числа переналагоджень повинна забезпечити завантаження обладнання при двух- або тризмінній роботі.

На основі підбраної групи деталей з урахуванням видів обробки і трудомісткості вибирають типаж необхідного обладнання, пристосувань, ПР, характер і маршрут транспортування деталей. На цьому етапі визначають компоновку автоматизованої виробничої ділянки, проводять розрахунок місткості автоматизованого складу, числа супутників, оптимізацію просторового розташування обладнання.

Зважаючи на багатоваріантність структурно-компонувальних рішень проекрованої виробничої ділянки багато його параметрів доцільно розраховувати на ЕОМ. Автоматизовані виробничі системи відносяться до великих технічних систем, наявністю взаємозв'язаних об'єктів, що характеризується складним зв'язком інформаційних і матеріальних потоків, виникненням в процесі роботи різних випадкових дій. Розрахунок на ЕОМ методом імітаційного моделювання дає можливість отримати основні характеристики різних компоновок виробничих систем з урахуванням всіх можливих випадкових виробничих ситуацій.

Для визначення складу обладнання, що включається в автоматизовані переналагоджувані системи, необхідне показове опрацювання ТП всіх деталей, що обробляються в системі. В першу чергу розробляють ТП на деталь, що має найбільше число оброблюваних поверхонь. При цьому намічають первинну спеціалізацію обладнання і виявляють необхідні технологічні характеристики для обладнання з ЧПУ. Технологічні процеси для решти деталей групи будують відповідно до прийнятого типового маршруту і з урахуванням наміченої спеціалізації обладнання.

Виходячи з розроблених ТП виявляють технологічні характеристики верстатів, на підставі яких проводять підбір верстатів з наявного парку (відповідно до каталогу верстатів з ЧПУ) або розробляють і використовують спеціалізоване обладнання.

Залежно від методів виготовлення виробів як основне технологічне обладнання можна використовувати: ливарні машини і установки (наприклад, для лиття під тиском); молоти і преси для кування і об'ємного штампування; штампи і преси для листового штампування; прокатні стани; металорізальні верстати; верстати для електрофізичної, електрохімічної і лазерної обробки; обладнання для обробки поверхневою пластичною деформацією; обладнання для термообробки (печі, ванни, нагрівальні і гартівні установки); обладнання для нанесення покриттів (наприклад, гальванічні ванни, камери забарвлень); складальне обладнання (наприклад, складальні автомати і промислові роботи). Оскільки найбільш поширеним

методом виготовлення виробів в машинобудуванні є обробка різанням, то найбільше застосування знаходять металорізальні верстати.

При підборі верстатів необхідно враховувати можливість їх встройки в АВС. Для цього у них повинні бути однотипні автоматичні пристрої для завантаження і закріплення супутників, однакові пристрої ЧПУ і достатня місткість магазинів інструментів. Таким чином, до складу АВС включають верстати з ЧПУ, параметри яких забезпечують реалізацію ТП обробки певної групи деталей. Туди ж можуть вбудовуватися і універсальні верстати або спеціалізоване обладнання, не оснащене ЧПУ, а також верстати без пристроїв для автоматичного завантаження деталей.

Необхідну кількість основного обладнання проекрованої ділянки підраховують окремо по номенклатурі і кожному типорозміру з урахуванням витрат часу ($T_{шт}$) по окремих операціях технологічного процесу, що виконується на даному устаткуванні, програми і номенклатури деталей, що випускаються, або виробів.

Вибір основного технологічного обладнання

Аналіз різноманіття деталей, що підлягають автоматизованій обробці, і відомих АД показує, що можна виділити два основні типи виробничих ділянок (що відрізняються обладнанням, засобами автоматичного транспортування, структурно-компонувальними рішеннями): автоматизовані ділянки для виготовлення деталей типу тіл обертання (валів, дисків, фланців, шестерень) і корпусних деталей.

Технологічний маршрут виготовлення деталей типу тіл обертання зазвичай складається з попередньої або остаточної токарної обробки, свердлильно-фрезерних операцій, термообробки і шліфування. Для автоматизованого виготовлення таких деталей неприйнятний спосіб закріплення їх в пристосуваннях-супутниках. Це пов'язано з тим, що деталі типу тіл обертання при обробці закріплюються в патронах і отримують обертання навколо осі. Тому основний шлях автоматизації процесу виготовлення деталей типу тіл обертання —використання верстатів з ЧПУ і промислових роботів. Заготовки розташовують на призмах або пазах в накопичувачах без жорсткого закріплення.

Вибір токарних верстатів з ЧПУ проводять залежно від габаритних розмірів і маси заготовок з коректуванням на точносні можливості обладнання (табл. 2.1 і 2.2).

Фрезерні, свердлильні, протяжні, зубооброблювальні, шліфувальні верстати доповнюють токарні і їх вибирають залежно від технологічних маршрутів виготовлення групи деталей.

Сумістити токарну обробку з фрезеруванням, свердлінням, розточуванням деталей типу тіл обертання дозволяють токарні багатоцільові верстати (табл. 2.3).

Автоматизовані ділянки для обробки корпусних деталей в основному складаються з багатоопераційних верстатів з ЧПУ типу «оброблювальний центр», об'єднаних системою автоматичного транспортування деталей з автоматизованим складом. У автоматизованих ділянках також використовують координатно-вимірвальні, мийні машини і інше додаткове обладнання.

Конструктивно-технологічні характеристики корпусних деталей і моделі багатоопераційних верстатів, що серійно виготовляються, що рекомендуються, з ЧПУ приведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.1

Рекомендовані моделі верстатів з ЧПУ для автоматизованої обробки деталей типу валів

Максимальні параметри заготовки			Висота вісі центрів верстата		Модель верстата
Діаметр, мм	Довж-а, мм	Маса, кг	Над станиною	Над супортом	
20	250	2	250	125	1П611ПМФ3, 1П717Ф3
50	500	10	320	200	16Б16Т1, 1713Ф3, 16Б16Ф3
80	1000	40	400	250	16К20Т1, 1720ПФ3, 16К20Ф3
160	1400	160	630	400	16К30Ф3, 1740РФ3, 1Б732Ф3

Таблиця 2.2

Рекомендовані моделі верстатів з ЧПУ для автоматизованої обробки деталей типу дисків

Максимальні параметри заготовки			Модель верстата
Діаметр, мм	Довж-а, мм	Маса, кг	
160	100	10	1П717Ф3, 1П420ПФ40, 11Б40ПФ4
250	200	40	16Б16Т1, 16К20Ф3, 1720ПФ30
320	250	80	16К20Т1, 16К20Ф3, 1740РФ3
400	320	160	1П752МФ3, 1П756ДФ3, 1П717Ф3

Таблиця 2.3

**Рекомендовані моделі верстатів з ЧПУ для автоматизованої
обробки деталей типу тіл обертання**

Максимальні параметри заготовки			Модель верстата
Діаметр, мм	Довж-а, мм	Маса, кг	
200	160	40	ІРТ180ПМФ4
220	500	150	СТМ220К
320	450	300	СТМ320К
400	1500	1500	1740РФ4
450	630	800	СТМ450
560	1000	1900	1757Ф4

Таблиця 2.4

**Рекомендовані моделі верстатів з ЧПУ для автоматизованої
обробки корпусних деталей**

Максимальні параметри заготовки				Верстат	
Довж-а, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Маса, кг	Модель верстата	Тип
200	200	320	60	ІР200ПМФ4	Багатоцільовий горизонтальний
320	250	320	100	6902ПМФ2	Гориз. - фрезерний з ЧПУ
320	320	400	150	ІР320ПМФ4	Багатоцільовий горизонтальний
400	500	500	300	2204ВМФ4	То же
400	630	500	300	2254ВМФ4	Багатоцільовий вертикальний
400	900	450	400	400V	То же
400	1600	250	400	ГФ2171С6	»
500	400	500	300	6904ВМФ4	Гориз. - фрезерний з ЧПУ
500	500	500	700	ІР500ПМФ4	Багатоцільовий горизонтальний
500	500	800	800	ІС500ПМФ4	То же
500	630	500	400	ГДВ500	Багатоцільовий вертикальний
500	1000	750	700	2С150ПМФ4	То же
630	630	630	600	Суперцентр 630	Багатоцільовий горизонтальний
600	1250	600	800	600V	Багатоцільовий вертикальний

630	800	800	800	2206ВМФ4	Багатоцільовий горизонтальний
800	630	630	500	6906ВМФ2	Гориз. - фрезерний з ЧПУ
800	800	800	1500	IP800ПМФ4	Багатоцільовий горизонтальний
800	800	800	2000	IC800ПМФ4	То же

При великій програмі випуску деталей в АД використовують верстати з ЧПУ із змінними багатошпindelними головками. Такі верстати збирають з комплекту уніфікованих вузлів, що включає станину, силовий стіл, привід головного руху, магазин змінних багатошпindelних головок. Багатошпindelні головки містять декілька інструментів, які за одну робочу подачу одночасно проводять обробку деталі.

Корпусні деталі в основному закріплюються в одномісних або багатомісних пристосуваннях-супутниках і транспортуються за допомогою рольгангів або конвеєрів між верстатами і автоматичним складом. Промислові роботи для транспортування корпусних деталей використовують рідко, тільки у випадках, коли корпусні деталі мають невеликі габаритні розміри і розвинені бази.

Пристосування-супутники мають форму прямокутної плити, на верхній частині якої закріплюються оброблювані деталі, а нижня частина має спеціальні пази і отвори для базування на накопичувачах, транспортних засобах або робочих столах верстатів. Таким чином, пристосування-супутники мають функцію не тільки верстатних пристосувань, але і пристосувань для транспортування і зберігання деталей на складі.

Вибір промислових робіт для обслуговування технологічного обладнання

Промислові роботи найчастіше застосовують для автоматизації завантаження-вивантаження виробів на технологічне обладнання, хоча вони можуть виконувати також зміну інструменту і контроль виробів на устаткуванні. Застосування ПР вирівнює і стабілізує роботу обладнання, підвищує завантаження обладнання, забезпечує гнучкість (швидке переналагодження) при зміні виробу, покращує умови праці в автоматизованому виробництві. Промислові роботи повинні володіти:

- достатнім технічним рівнем для обслуговування складного технологічного обладнання;
- відповідними технічними характеристиками (вантажопідйомність, швидкість спрацьовування, точність позиціонування, тип програмного пристрою);
- можливістю стикування з обслуговуваним обладнанням по всіх параметрах;
- високою надійністю, достатньою універсальністю, малим часом

переналадження;

- можливістю підвищення техніко-економічних показників обробки (низький рівень браку, висока продуктивність).

При виборі ПР необхідно враховувати:

- відповідність маси об'єкту вантажопідйомності ПР, що маніпулює;
- відповідність зони, в якій повинне проводитися маніпулювання, робочій зоні робота;
- відповідність траєкторії, швидкості і точність рухів кінематичним і точністним можливостям ПР;
- можливість захоплення деталі захватним пристроєм;
- можливість побудови траєкторії переміщення захвата робота між заданими точками в робочій зоні.

Для автоматизованої ділянки доцільно використовувати групу однотипних ПР, що спрощує їх обслуговування і наладку.

При виборі ПР можна керуватися рекомендаціями, приведеними у таблиці 2.5.

Вибране обладнання і ПР можна скомпонувати в різних варіантах. При невеликому циклі обробки деталі можна використовувати ПР для обслуговування одного верстата. У разі великої тривалості циклу обробки деталі можна розташувати групу верстатів навколо одного ПР або переміщати його на транспортному візку уздовж верстатів. Для скорочення часу обслуговування верстата ПР оснащують двома захватами або одним двомісним захватом.

Таблиця 2.5

ПР і обслуговуюче технологічне обладнання, рекомендовані для роботизованих осередків механообробки тіл обертання

Модель ПР	Вантажопідйомність, кг	Параметри						Обслуговуюче технологічне обладнання
		Вертикальний хід, мм	Горизонтальний хід, мм	Поворот, град	Швидкість лінійна, м/с	Швидкість кутова, м/с	Похибка позиціонування,	
МП-9С	0,2	30	180	120	0,5	180	0,05	ТПК-125, 1П611ПФ3, 1П717Ф3
РФ-202М	0,2/ 0,2	30	200	120	0,8	180	0,1	ТПК-125, 1П611ПФ3, 1П717Ф3
РФ-204М РФ-205М	0,5/ 0,5	30	200	120	0,7	180	0,5	ТПК-125, 1П611ПФ3, 16616Ф3
РФ-	1,0	400	500	250	0,5	60	0,5	6Н13Ф3,

1001С									1П717Ф3, 1П611ПФ3
„Циклон-5.01”	5/5	100	850	270	1,5	180	0,1		ЛФ-220ПФ3, ЛФ-320ПФ3, 6520МФ3, МР-71, 3М151Ф2
М-31 (М-21)	5/5	600	1000	90	0,7	120	0,5		ТПК-125, 1П611ПФ3, 16Б05ВФ3, 16Б16Ф3
ПР-4	5	150	600	240	0,7	100	0,5		1А616Ф3, 1713Ф3, 6Н82
„Універсал-5”	5	800	700	240	0,8	120	1,0		МР-76, ВТ-53, 1Е61МФ2, 1А616С
„Бриг-10Б”	10	100	600	270	0,7	120	0,5		КТ-141, КТ-142, 1А240П-6, 1П752МФ3
МП-5	15	250	600	180	0,8	90	0,5		1734П, 1713
МП-8	15	250	800	270	0,5	120	1,0		16Б16Ф3, 16К20ПФ3, 16К20Т1, 1П752МФ3
М20П	20	500	500	300	0,5	60	1,0		16К20Ф3, 6902ПМФ3, 16К20Т1
7607	25	300	700	340	0,7	180	1,0		16К20ПФ3, 16К20Т1, 6902ПМФ3
ПР-25	25	1000	1750	320	0,8	180	1,0		16К20ПФ3, 16К20Т1, 6902ПМФ3
РПМ-25.02	25	1000	1750	350	0,8	180	1,0		16К20ПФ3, 16К20Т1, 1П752МФ3, 6904ВМФ3
СМ40Ц4301	40	760	760	270	0,5	90	1,5		16К20Ф3, МР-71М, 1П735ПФ3, 2Р135Ф2, 6Р13Ф3, 6902ПМФ3

СМ40Ф280.01	40	-	1000	180	0,8	90	1,0	16А16Ц, 1П756ДФ3, 1Н713, МР-76М, 3М152ВФ2, 3М132
РВ-50	50	300	50	70	0,2	30	0,1	1713МФ3, 1А713МФ3, 1Б732МФ3
„Універ- сал-50м”	50	-	900	340	0,9	36	3,0	1713, 1713МФ3, МР-71
РР-1	80	1000	3230	180	0,8	180	1,0	1П752МФ3, 1П756ДФ3, 16К30Ф3, 1Б732МФ3
СМ80Ц.25.01А	80 (40*2)	1000	3600	180	0,8	90	0,2	1П752МФ3, 1П426ДФ3, 2А912, 2А932, 3М152, 3М161Е
УМ160Ф2.8101	160	2300	1000	90	0,5	120	0,5	МР-179, 16732Ф3, 6904ВМФ4, 16К30Ф3
СМ160Ф2.0501	320 160*2	1800	8900	60	0,5	120	0,5	16К30Ф3, 16Б16Т1, 1740РФ3, 2943РФ4, 2А913, 3М173, 3Т172

Приблизно кількість верстатів, що обслуговуються одним роботом, можна визначити по формулі

$$n_{CT} = \frac{t_{M.C.} \cdot K_3}{t_{3АП}} + 1, \quad (2.23)$$

де $t_{M.C.}$ — машинний час роботи обладнання; $t_{3АП}$ — час роботи ПР (зміна інструменту, завантаження-вивантаження виробу); K_3 — поправочний коефіцієнт, що враховує паузи, збої в роботі. При циклічній роботі приймають $K' = 0,7$.

Для оптимізації робочого циклу системи машин в часі складають циклограму, що відображає моменти початку і закінчення робочих і холостих операцій (ходів), а також їх взаємне розташування в часі (циклі). Скорочення циклу шляхом максимального поєднання часу робочих ходів (t_p) і часу холостих ходів (t_{xx}) є метою складання циклограми. Циклограма може координувати роботу як окремих вузлів і механізмів верстата, так і сукупності верстатів і допоміжного обладнання, що входять в автоматизовану систему.

Методика побудови циклограм функціонування робототехнічного комплексу (РТК)

Стосовно робототехнічних комплексів (РТК) циклограма повинна включати у вибраній послідовності всі основні і допоміжні операції (переходи) виготовлення виробу, а також умовні операції (переходи) для можливих змін технологічного маршруту.

Для побудови циклограми функціонування РТК необхідно.

1)проаналізувати компоновку РТК і визначити всі рухи (переходи) основного і допоміжного обладнання (робота, верстата, накопичувача), необхідні для виконання заданого циклу обробки деталі;

2)визначити (скласти перелік) всіх механізмів основного і допоміжного обладнання, що беруть участь у формуванні заданого циклу;

3)задати початкове положення механізмів робота, верстата, транспортера і т. д.;

4)скласти послідовність рухів обладнання (механізмів) за цикл у вигляді таблиці;

5)визначити час виконання кожного руху t_i використовуючи формули:

$$t_i = \frac{\alpha_i}{\omega_i} \text{ або } t_i = \frac{\beta_i}{\omega_i};$$
$$t_i = \frac{l_i}{V_i} \text{ або } t_i = \frac{h_i}{V_i},$$

де α_i, β_i — кути повороту механізмів; l_i, h_i — лінійні переміщення механізмів; ω_i, V_i — відповідно паспортні швидкості кутового і лінійного переміщення механізмів по відповідній координаті.

Для прикладу розглянемо побудову циклограм функціонування РТК механообробки. Комплекс призначений для обробки деталей на токарно-патронному напівавтоматі моделі 16К20Ф3. Завантаження-розвантаження і встановлення заново деталей здійснює однозахватний ПР М20П40.01. До складу РТК входить накопичувач для деталей і заготовок — тактовий стіл. Компоновка РТК представлена на рис. 2.9.

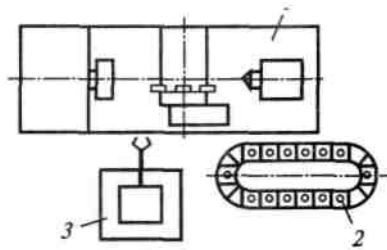


Рис. 2.9. Компонівка РТК:

1 — токарний напівавтомат моделі 16К20Ф3; 2 — тактовий стіл (накопичувач заготовок і деталей); 3 — промисловий робот ПР моделі М20П.40.01

1. Для виконання заданого циклу обробки деталі за два установа необхідні наступні рухи (переходи):

- завантаження заготовки в патрон верстата;
- затиск заготовки в патроні;
- відведення руки ПР;
- обробка деталі (установ 1);
- встановлення заново деталі в патроні верстата, відведення руки

ПР;

- обробка деталі (установ 2);
- розвантаження деталі з патрона верстата на тактовий стіл, переміщення тактового столу на один крок (на одну позицію).

2. У формуванні заданого циклу беруть участь механізми

- верстата:
 - затиску деталі (патрон)
 - обертання деталі
 - подачі супорта
 - повороту різцевої головки
 - переміщення огорожі;
- промислового робота (рис. 2.10):
 - підйому руки
 - повороту руки щодо вертикальної осі;
 - висунення руки
 - затиску захвату
 - ротації захвату (повороту захвату щодо горизонтальної осі),
 - поворот захвату щодо вертикальної осі;
- тактового столу:
 - переміщення деталі (заготовки) на один крок (на одну позицію).

3. Початкове положення обладнання і його механізмів: патрон верстата розтискав, огорожа відкрита;

супорт в нульовій (початковою) позиції, в різцевій головці встановлений необхідний комплект інструментів для обробки заданої деталі, тобто для виконання заданого циклу обробки, лінія центрів верстата вище за рівень розташування заготовок на тактовому столі;

Захват робота розтискає, вісь деталі, що спочатку затискається в обхваті, — горизонтальна; рука втягнута і повернена до тактового столу, захват (рука) на рівні розташування заготовок на тактовому столі, заготівка розташована на тактовому столі в призмах проти захвату ПР.

4. Відповідно до складеної послідовності рухів механізмів обладнання за цикл побудована циклограма функціонування РТК (рис. 2.11).

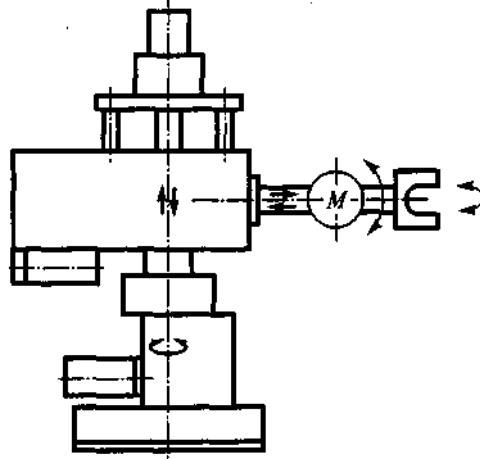
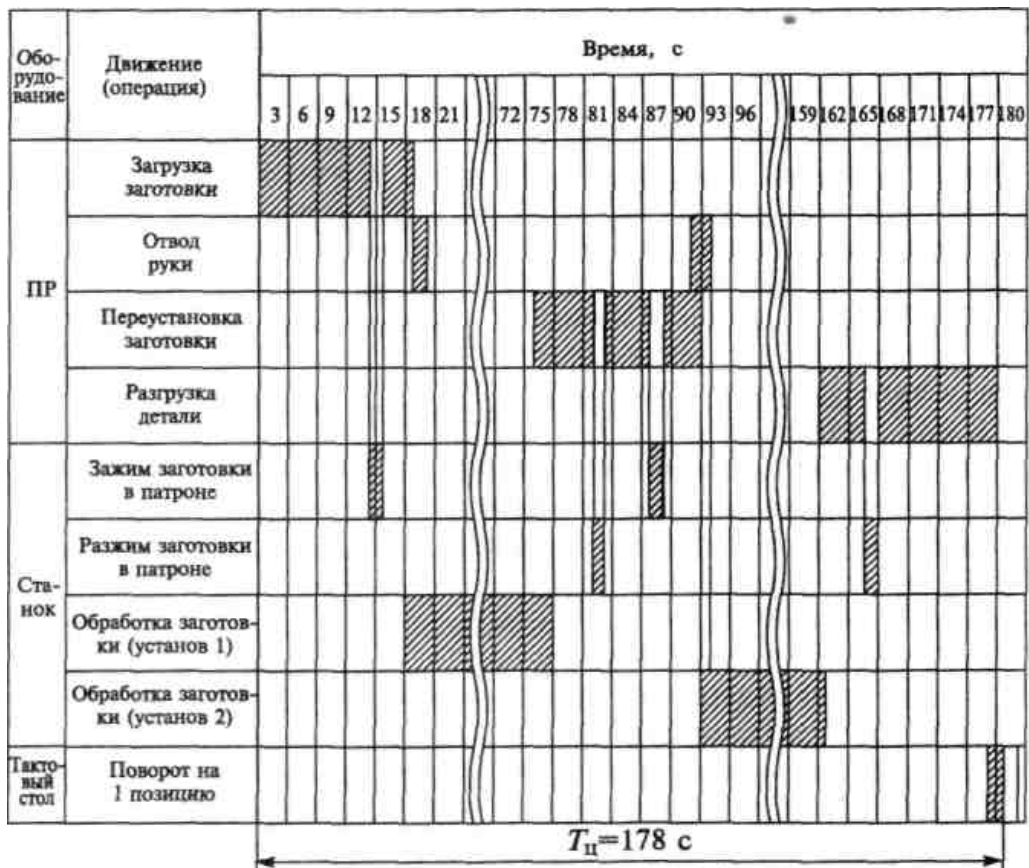


Рис 2.10. Промисловий робот моделі М20П.40.01

Рис 2.11. Циклограма роботи (функціонування) РТК



2.3. Автоматизация завантаження, транспортування і складування виробів в умовах автоматизованого виробництва

У автоматизованих системах різного рівня широко використовуються транспортно-завантажувальні, накопичувальні і складські пристрої і системи. Вони призначені для переміщення виробів з позиції на позицію, їх розподілу по потоках, повороту, орієнтації, міжопераційного накопичення і складування. Характер роботи, склад, конструкція, компоновка вказаних пристроїв безпосередньо залежать від характеристик виробів і характеру технологічного процесу. Правильний вибір засобів транспортування, завантаження, накопичення і складування виробів безпосередньо впливає на надійність, продуктивність і експлуатаційні витрати автоматизованих систем.

Перша, найбільш поширена вимога для деталей, що поступають на автомати, автоматичні лінії, — їх орієнтація. Для цієї мети використовують цільові механізми і пристрої холостих ходів: ПР, автооператори, різні орієнтуючі пристрої, серед останніх найбільшого поширення набули вібраційні бункерно-орієнтуючі пристрої (ВБОП). Різні конструкції і способи орієнтації дозволяють вибирати, а при необхідності заново конструювати необхідні ВБОП.

Деталі поступають у ВБОП у вигляді неорієнтованої маси. Після активної або пасивної (змішаної) орієнтації їх за допомогою ПР або вбудованих механізмів завантаження встановлюють на робочі позиції.

Активну орієнтацію здійснюють застосуванням спеціальних порогів, прорізів, вікон із зсувом центру тяжіння, струмені стислого повітря, магнітного поля і інших пристроїв. Як активні орієнтуючі пристрої використовують захвату ПР і маніпуляторів, які витягують деталі з маси в певному положенні, тобто строго орієнтовано. Пасивна орієнтація припускає відсікання деталей один від одного і відсівання неорієнтованих деталей за допомогою спеціальних виступів, прорізів, пазів на лотках, що підводять і відвідних. Змішана орієнтація є найбільш надійним і продуктивним способом подачі орієнтованих деталей в зону обробки, тим більше що надалі за допомогою транспортно-орієнтуючих пристроїв необхідно зберегти орієнтацію деталей на подальших робочих позиціях.

Завантажувальні пристрої автоматизованих систем

Завантажувальні пристрої автоматизованих систем є групою цільових механізмів, що включає підйомники, транспортери-розподільники, механізми прийому і видачі виробів, лоткові системи, відвідні транспортери, міжопераційні накопичувачі (бункерні і магазинні), автооператорів.

Магазинні завантажувальні пристрої залежно від способу транспортування можна розбити на три класи:

- самотокові;
- примусові (магазини-транспортери);
- напівсамотокові.

У пристроях всіх класів деталі, в основному у формі тіл обертання, поступають, зберігаються і видаються в орієнтованому стані.

У самотокових (гравітаційних) магазинах заготовки переміщуються під дією сил тяжіння; ці магазини використовують для подачі заготовок впритул, а заготовок спеціальної форми — урозрядку тобто з інтервалом, для чого кожную заготівку поміщають в окреме гніздо або між захопленнями транспортуючого елемента. Заготовки переміщують коченням або ковзанням.

У примусових магазинах і транспортних пристроях заготовки переміщують за допомогою приводних механізмів в будь-якому напрямі і з будь-якою швидкістю. Пристроями цього типу можна транспортувати заготовки за допомогою несучих засобів (транспортерів) або спеціальними захопленнями впритул і урозрядку, поштучно або порціями. Найширше використовують пристрої з орбітальним рухом робочих органів, що переміщують заготовки, з гладкими валяннями, що обертаються, одно- і двогвинтові, інерційні, барабанні, карусельні і ін.

У напівсамотокових магазинах заготовки ковзають по площині, розташованій під кутом, значно меншим кута тертя. Заготовки переміщуються унаслідок штучного зменшення сили тертя між поверхнями ковзання при поперечному коливанні несучої поверхні або в результаті освіти між поверхнями ковзання повітряної подушки.

Бункерними завантажувальними пристроями БЗП є ємності з орієнтованими деталями, розташованими в один або декілька рядів. Особливістю БЗП слід вважати відсутність захватних і орієнтуючих пристроїв і ручну орієнтацію заготовок. БЗП відрізняються один від одного розташуванням, характером переміщення заготовок і способом їх видачі. Як правило, в бункерах зберігаються і видаються деталі простої форми: болти, шайби, ковпачки.

У бункері заготовки зосереджені навалом, тому потрібно автоматично захоплювати їх (ворушити) і орієнтувати для подальшого завантаження на обладнання. Бункери можуть мати одну ємність для накопичення і захоплення заготовок або дві ємності: одну — для накопичення запасу заготовок, а другу — для видачі орієнтованих заготовок.

Найбільш поширеними є вібраційні БЗП. Принцип дії такого бункера заснований на здатності деталей поступально переміщатися в процесі їх вібрації. Існують вібробункери для вертикального підйому деталей з направленою і з вільною підвіскою лотка або чаші. Розрахунок вібробункера проводять на підставі умов необхідної продуктивності, розміру заготовок, їх маси, орієнтовної ємності бункера і інших чинників.

І магазинні і бункерні завантажувальні пристрої функціонально і конструктивно пов'язані з лотковими системами, які є лотками: прямі прості, роликові, спіральні прості, спіральні роликові, спіральні-овальні, змійкові, зигзагоподібні, дугоподібні, каскадні і ін. Деталі переміщують по лотках як самотекам, так і примусово, під дією вібрації. Останній спосіб є продуктивнішим, хоча і вимагає додаткових пристроїв і, отже, витрат.

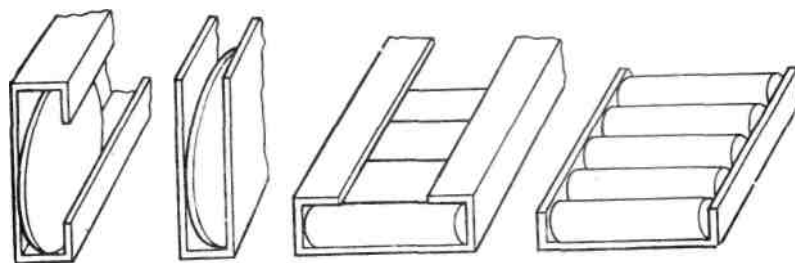


Рис 2.12. Лотки-скати для транспортування заготовок типу валів і дисків

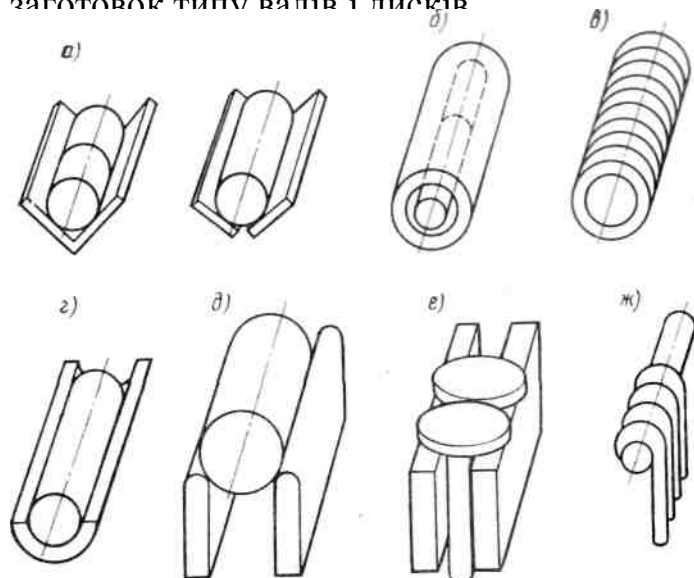


Рис 2.13. Лотки-склизі

На рис. 2.12 показані лотки-скати для транспортування заготовок типу валів і дисків.

При конструюванні лотків-скатів коробчатого типу необхідно правильно вибрати розміри поперечного

перетину лотка, висоту бортів, кут нахилу виходячи з умов прохідності заготовок в лотку. Під прохідністю заготівки розуміється її властивість переміщатися в лотку без заклинювання і втрати орієнтації.

Основні типи лотков-склизів представлені на рис.

2.13. Кутові лотки застосовуються для транспортування заготовок уздовж осі (рис. 2.13, *a*). Трубчасті лотки робляться жорсткими (рис. 2.13, *б, з*) і гнучкими (рис. 2.13, *в*). Рейкові лотки служать для переміщення заготовок типу поршня (рис. 2.13, *д*), заготовок з буртом (рис. 2.13, *е*), заготовок крюків (рис. 2.13. *ж*).

Розрахунок швидкості і часу переміщення необхідно пов'язати з надійністю завантажувальних пристроїв, так само як і з продуктивністю і надійністю всієї автоматизованої системи. Складовою частиною завантажувальних пристроїв, у тому числі і лоткових систем, є відсікачі і живильники.

Відсікачі — механізми поштучної видачі — призначені для відділення однієї заготівки (або декількох заготовок) від загального потоку заготовок, що поступають з накопичувача, і для забезпечення переміщення цієї заготівки (або заготовок) в робочу зону обладнання або на транспортер. По траєкторії руху розрізняють відсікачі : з поворотно-поступальним рухом, з коливальним рухом, з обертальним рухом. Виконавчими елементами відсікачів можуть бути штифти, планки, кулачки, гвинти, барабани, диски з пазами.

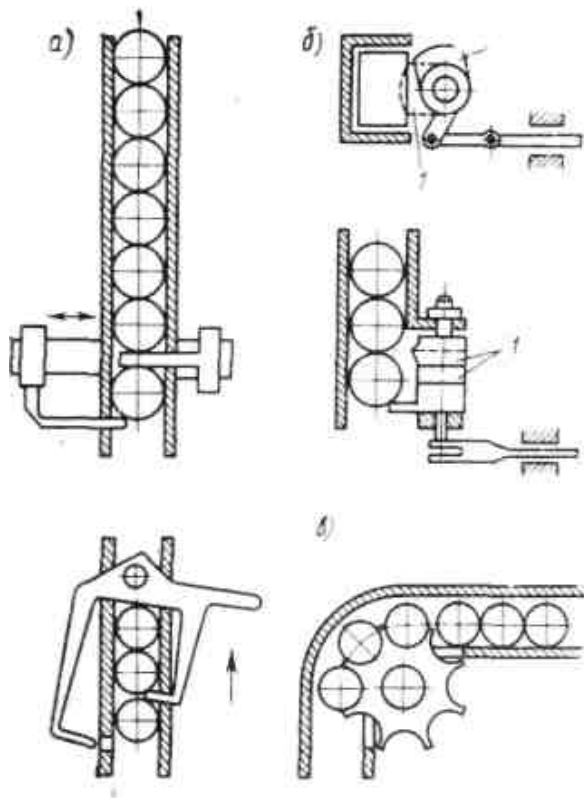


Рис 2.14. Відсікачі

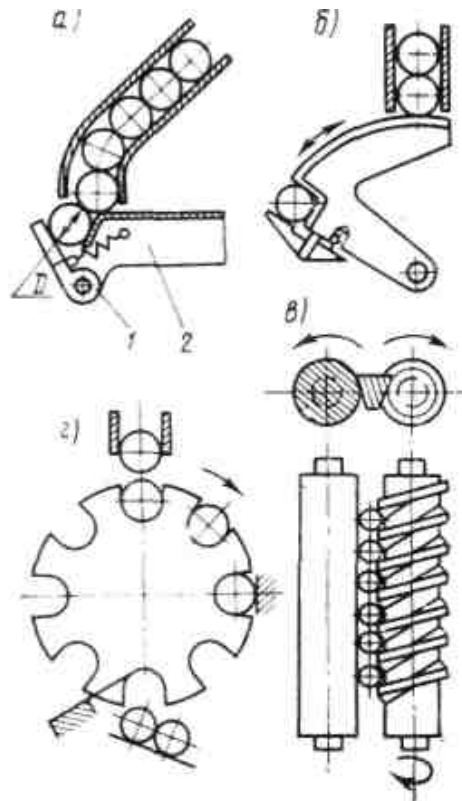


Рис 2.15. Живильники

За будовою відсікачі ділять на штифтові, кулачкові і барабанні. Штифтові відсікачі застосовуються з прямолінійно-поворотним відсікачі застосовуються з прямолінійно-поворотним рухом штифтів або що гойдає навколо осі (рис. 2.14, *a*). Їх недолік — в нейтральному положенні

можливе заклинювання заготовок і продуктивність обмежується швидкістю вільного руху заготовок. Продуктивність штифтових відсікачів не перевищує 100...200 заготовок за хвилину.

Кулачкові відсікачі мають пару кулачків *1*, зміщених відносно один одного так, що один з них при повороті випускає заготівку, а інший утримує всі останні (рис. 2.14, б).

Барабанні відсікачі мають диски з виїмками під заготовки (рис. 2.14, в). Обертаючись безперервно або переривчасто, диск захоплює по одній заготовці, утримуючи всі останні.

Живильники призначені для примусового переміщення орієнтованих заготовок з накопичувача в зону затискного пристосування або на транспортуючий пристрій. Конструкції живильників різноманітні; їх форма, розміри, привід рухомих частин залежать від конструкції обладнання, взаємного розташування інструменту і заготівки, від форми, розмірів і матеріалу заготовок, що подаються. Вони бувають таких типів: шиберні, мотилеві, барабанні, револьверні, шнекові.

Шиберні живильники є найбільш поширеними (рис. 2.15, а). У початковому положенні приймальне гніздо знаходиться проти отвору лотка і заготівка западає в нього. При русі шибера *2* справа наліво заготівка переноситься до пристосування, де затискається. При поверненні шибера в початкове положення планка *1* відкидається, повертається навколо осі і проходить під заготівкою. Мотилевий живильник відрізняється від шиберного обертальним рухом на певний кут (рис. 2.15, б). Шнекові живильники застосовуються для завантаження заготовок типу конічних роликів (рис. 2.15, в). Барабанний живильник є диском з горизонтальною віссю обертання і гніздами, в які западають заготовки (рис. 2.15, г). І відсікачі, і живильники входять до складу автоматичних завантажувальних пристроїв — автооператорів.

Автооператори — спеціальні цільові завантажувальні пристрої, що складаються з живильника, відсікача, заштовхувача, виштовхувача (знімача) і відповідного пристрою. Ці пристрої є спеціальними, тобто їх застосовують для обслуговування одній або ряду подібних операцій. Автооператори виконують поворотно-поступальне, коливальне переміщення деталей в зону обробки. При цьому час роботи автооператора строго синхронізований з роботою обслуговуваного обладнання. Автооператори оснащуються механічними, магнітними, електромагнітними, вакуумними захватними пристроями. Продуктивність автооператора визначається продуктивністю обладнання, яке обслуговується цим автооператором. Надійність автооператорів залежить від умов їх виготовлення і експлуатації і безпосередньо впливає на надійність і ефективність роботи обладнання.

Особливим класом завантажувальних пристроїв (ЗП) є роботи, які служать для транспортування, орієнтації і завантаження виробів.

Промисловим роботом (ПР) називають швидко переналагоджуваний пристрій з власним програмним управлінням, що дозволяє синхронізувати

його дію з іншими машинами і механізмами і виконувати за допомогою своїх механізмів операції технологічного процесу, що циклічно повторюються, тобто це пристрій, який легко вписується в комплекс технологічного обладнання для його обслуговування. Промислові роботи застосовують в металообробці, штампуванні, збірці, ливарному виробництві.

Технічний рівень ПР визначають наступні параметри: межі і міри свободи руху, здатність руху в багатовимірному просторі, погрішність позиціонування (лінійна або кутова погрішність, з якою ПР виконує свої функції), повторюваність, гнучкість системи управління, об'єм пам'яті і ін. Крім того, ПР характеризуються своєю вантажопідйомністю, площею зони обслуговування, формами і габаритами захоплюваних деталей.

По ступеню участі людини в управлінні прийнято класифікувати роботи на три групи (три покоління). Роботи першого покоління працюють за «жорсткою» програмою і вимагають точного позиціонування виробів. Вони мають вельми обмежені можливості по сприйняттю робочого середовища.

Роботи другого покоління (адаптивні роботи) здатні пристосовуватися до обстановки, що змінюється, і не вимагають точного позиціонування виробів, оскільки забезпечені датчиками зворотного зв'язку.

Роботи третього покоління (інтелектуальні роботи) можуть сприймати, логічно оцінювати ситуацію і залежно від цього визначати рухи, необхідні для досягнення заданої мети роботи. Системи управління цих роботів оснащені вбудованими ЕОМ.

Через свою простоту і надійність найбільш поширені ПР першого покоління, з числом ступенів вільності не меншим п'яти і без зворотного зв'язку.

За ступенем універсальності ПР ділять на три групи:

- універсальні, призначені для виконання основних і допоміжних операцій незалежно від типу виробництва, із зміною захватного пристрою і з найбільшим числом ступенів вільності;
- спеціалізовані, призначені для роботи з деталями певного класу при виконанні операцій штампування, механообробки, складання, із зміною захватного пристрою і з обмеженим числом ступенів вільності;
- спеціальні, призначені для виконання роботи тільки з певними деталями за строго зафіксованою програмою і що мають 1-3 ступенями вільності.

За способом виконання руху розрізняють ПР з дискретним керуванням (послідовний рух по кожній координаті) і ПР з траєкторним керуванням (одночасний рух по декількох координатах).

За методами керування роботи можна класифікувати на два типи: ПР з розімкненою системою управління (наприклад, з тимчасовою залежністю) і ПР із замкнутою системою управління (швидкості визначає сам робот).

Системи управління роботами підрозділяють на релейних (двопозиційних), таких, що забезпечують рух ПР по упорах, і крокового типу,

що забезпечують рух ПР по контрольних крапках, коли величина кроку контролюється від позиції до позиції (від однієї крапки до іншої).

На відміну від верстатів роботи програмують, як правило, методом навчання, коли на першому циклі оператор, управляючи роботом уручну, імітує цикл роботи. Вся послідовність рухів робота, координати позицій і траєкторії переміщень запам'ятовуються і відтворюються в подальших циклах автоматично.

За типом приводу розрізняють гідравлічні, пневматичні, електричні, змішані ПР. Промислові роботи бувають нерухомими (стаціонарними) і рухомими. І ті, та інші можуть бути як підлоговими, так і підвісними. До рухомих відносяться транспортні ПР, обслуговуючі лінії, ділянки, комплекси.

До складу ПР входять:

- механізми захоплення і захватні пристрої;
- механізми руху рук по циліндровій поверхні (рука рухається по вертикалі і повертається) і по сферичній поверхні;
- механізми переміщення;
- датчики.

Важливою складовою частиною роботів є датчики: контактні, які дають сигнал про дотик руки робота; локаційні, такі, що визначають швидкість руху і відстань до предметів; телевізійні і оптичні, що створюють штучний зір; датчики зусиль і моментів на виконавчих руках робота при проведенні операції; датчики, що розрізняють колір, температуру, звучання і інші чинники. Система датчиків служить джерелом зворотних зв'язків для управління роботом. Сигнали датчиків потрібним чином перетворюються і обробляються на ЕОМ з метою формування сигналів управління, виконавчих рук, що подаються на приводи. В результаті робот починає діяти з урахуванням фактичної обстановки, тобто він дістає можливість адаптації (приспосовування своїх дій) до обстановки, що реально складається.

Розрахунок і конструювання ПР проводять, виходячи з комплексу завдань по обслуговуванню обладнання і виконанню технологічних операцій, статичних і динамічних вимог при виконанні цих завдань (погрішність позиціонування, вантажопідйомність, траєкторії рухів, швидкості і прискорення рухомих частин). При цьому виконують ретельний аналіз існуючих технічних рішень для кожної функціональної частини робота (захоплення, рук, датчиків, механізмів пересування, системи управління і ін.) Через цю специфіку при конструюванні роботів використовують модульний принцип, тобто складають ПР з конструктивно закінчених окремих функціональних частин: модулів лінійних і кутових переміщень, змінних захватних пристроїв, комплектів перехідних елементів.

Перевагами ПР є:

- гнучкість, можливість обслуговування різного технологічного обладнання;
- можливість вирівнювання роботи обслуговуваного обладнання лінії,

комплексу;

- вивільнення обслуговуючого персоналу, поліпшення умов його праці. Вибір моделей і складання циклограм функціонування ПР розглянуті в розд. 2.3.

Транспортні пристрої автоматизованих систем

Транспортні пристрої автоматизованих систем призначені для переміщення деталей і складальних одиниць з позиції на позицію, розподіл деталей по потоках, повороту і орієнтації деталей. Всі транспортні пристрої ділять на автоматизовані системи з жорстким і гнучким зв'язком.

Транспортні механізми автоматизованих систем з жорстким зв'язком включають: а) крокові транспортери; б) поворотні столи і кантувачі; в) перевантажувачі; г) рейнери; д) пристосування-супутники; е) механізми повернення пристосувань-супутників.

Крокові транспортери переміщують оброблювані заготовки з однієї позиції в іншу на певний крок, рівний відстані між верстатами або кратний цій відстані.

Типи крокових транспортерів: з собачками, з прапорцями, грейфери, рейнерні, штовхальні, ланцюгові.

Найбільшого поширення набули крокові транспортери з собачками (рис. 2.16, а). На штанзі 1 встановлені підпружинені собачки 2 на осях. При русі вперед (зліва направо) штанга з собачками захоплює заготовки 3 і переміщає їх на наступну позицію. При русі назад (справа наліво) собачки утапливаються, повертаючись на осях, і проходять під заготовками. Швидкість переміщення транспортера не перевищує 10 м/мін і в кінці ходу швидкість його доводиться знижувати, оскільки при великих швидкостях заготівка може піти за інерцією вперед. Перевага цих транспортерів — простота руху (прямолінійне поворотно-поступальне) і відповідна нею простота приводу (пнеumo- або гідропривод), основний недолік — складність точного позиціонування заготівки на робочій позиції верстата.

Крокові штангові транспортери з прапорцями забезпечують швидкість переміщення понад 10 м/хв і точніше позиціонування заготовок на робочих позиціях лінії (рис. 2.16, б). При русі вперед штанга 1

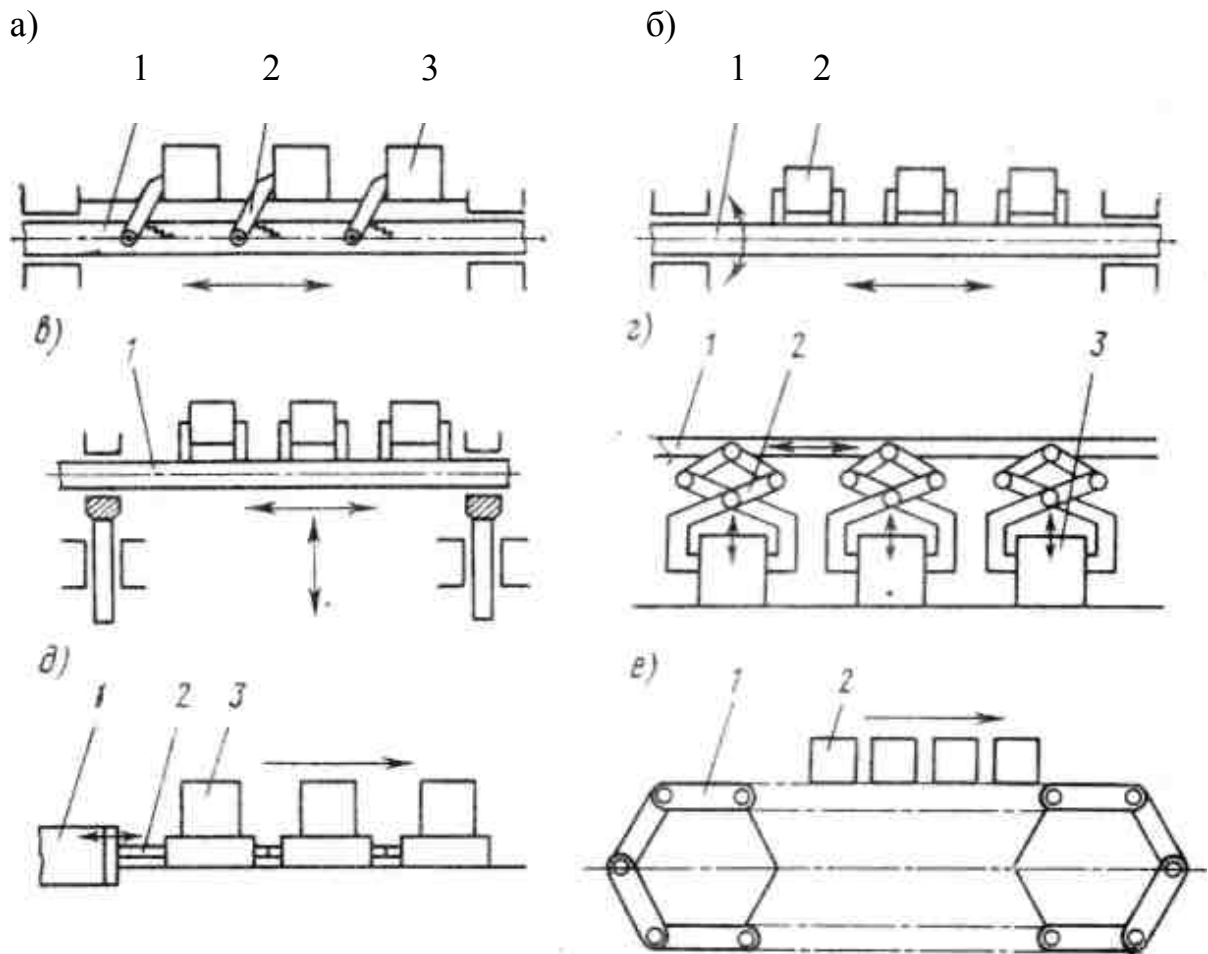


Рис. 2.16. Крокові транспортери

транспортера з прапорцями захоплює заготовки 2 і переміщає на один крок. При русі назад штанга з прапорцями повертається на певний кут. Таким чином штанга транспортера з прапорцями здійснює прямолінійне поворотно-поступальне переміщення і коливальне переміщення навколо своєї осі. Для коливального руху штанги навколо своєї осі потрібний додатковий привід.

Крокові транспортери (рис. 2.16, в) грейферів застосовуються рідше. Штанга 1 транспортера з прапорцями переміщає заготовку в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Транспортер працює по наступному циклу: підйом заготовок вгору, переміщення їх на один крок вперед, опускання на тих, що направляють (при цьому штанга опускається ще нижче) і повернення в початкове положення. Транспортери даного типу застосовуються в тих випадках, коли захоплення заготовок може бути здійснений тільки з одного боку і для переміщення і установки їх слідує спочатку підняти.

Рейнерні крокові транспортери є ускладненим типом грейферів (рис. 2.16, з). Заготовки 3 переміщуються захопленнями 2, що сидять на штанзі 1, яка розташована зверху, над верстатами. Ці транспортери знайшли застосування АЛ для обробки валів. Рейнерні транспортери спрощують компоновку лінії і економлять виробничу площу. Проте вони складні по пристрою і тому мають недостатню надійність в роботі.

Найбільш простими по конструкції є *штовхаючі* крокові транспортери (рис. 2.16, д). У них шток 2 гідроциліндра 1 безпосередньо впливає на останню заготівку всього ряду заготовок 3, переміщаючи їх впритул один за одним. Недолік таких транспортерів полягає в тому, що фіксація заготовок ускладнюється унаслідок накопичення помилок позиціонування кожній подальшою заготівкою із-за розкиду їх лінійних розмірів.

Ланцюгові транспортери можуть застосовуватися як як засоби безперервного транспорту, так і крокового (рис. 2.16, е). Ланцюг 1 отримує поворотно-поступальний рух. Заготовки 2, лежачі вільно на ланцюзі переміщуються на відстань, більшу, ніж передбачено кроком між позиціями. При дотриманні такої умови буде забезпечено надійне переміщення заготівки до висувних упорів.

Транспортні механізми автоматизованих систем з гнучким зв'язком включають: а) транспортери-розподільники; б) лотки; в) дільники потоків; г) підйомники; д) транспортні роботи; е) ритмопостачальники.

Сюди ж як складова частина транспортних механізмів з гнучким зв'язком можна віднести транспортери-накопичувачі; магазини-накопичувачі; бункери-накопичувачі.

До групи транспортних механізмів систем з гнучким зв'язком відносять і транспортні засоби переналаджуваних автоматизованих систем. Їх особливістю є широке використання автоматизованих складів і накопичувачів, що обслуговуються штабелерами, транспортних візків з маніпуляторами, приймально-передавальних пристроїв, поворотних столів, що дозволяє об'єднувати їх в транспортно-накопичувальні системи (ТНС). Характер роботи, склад і конструктивні особливості транспорту залежать від характеристик виробів і характеру основних і допоміжних операцій. Робота транспорту найбільшою мірою впливає на надійність і продуктивність автоматизованих систем.

Технічні засоби автоматизованих транспортних систем

Технічні засоби ТНС ділять на дві групи: основне обладнання і допоміжне.

Основне обладнання призначене для переміщення вантажів в умовах автоматизованого виробництва (стелажні і мостові крани-штабелери, транспортні роботи, конвеєри, накопичувачі, перевантажувальні і орієнтуючі пристрої, транспортно-складська тара, засоби АСУ).

Допоміжне обладнання: штовхачі, орієнтатори, підйомники, живильники, адресувачі.

Транспортні і накопичувальні засоби вибирають на основі аналізу вантажопотоків на ділянці або в цеху з урахуванням властивостей матеріалів виробів. При виборі схеми вантажопотоків необхідно враховувати найменші по протяжності маршрути переміщення вантажів, мінімальне застосування перевантажувальних пристроїв, кантують.

Особливістю АД є застосування як транспортних засобів кранів-штабелерів і транспортних промислових роботів. Всі транспортні засоби, використовувані на цих ділянках, повинні бути оснащені системами автоматичної адресації і мати пристрої автоматичного вантаження-розвантаження вантажів.

Крім того, в умовах автоматизованого виробництва широко застосовують підвісний транспорт, підлогові конвеєри, транспортери, візковий транспорт.

До підвісного транспорту відносяться:

- підвісні конвеєри для внутрішньо-цехових і міжопераційних переміщень деталей і виробів вагою до 2 т на відстань до 1000 м, для створення рухомих запасів деталей на робочих підвісках конвеєра; важчі вантажі вагою до 2,5 т і вище можуть транспортуватися на вантажопідйомних конвеєрах з візками;
- підвісні монорельси для внутрішньо-цехових вантажопотоків максимальною вантажопідйомністю до 20 т;
- монорельсові транспортні роботи з пристроями для переміщення і маніпулювання виробами вагою до 300 кг;
- підвісні дороги з електронним тягачем і причіпними візками вантажопідйомністю до 500 кг

До підлогових конвеєрів і транспортерів для потокового виробництва відносяться:

- рольганги (приводні і неприводні похилі) для міжопераційного переміщення виробів вагою до 1200 кг;
- стрічкові конвеєри для транспортування дрібних деталей вагою до 250 кг з малим тактом випуску;
- візкові конвеєри, вживані для транспортування виробів на складальній ділянці, рідше на механічних ділянках. Залежно від габаритів виробів застосовують вертикально і горизонтально замкнуті конвеєри вантажопідйомністю до 8000 кг і до 1000 кг відповідно;
- крокуючі конвеєри з пульсуючим переміщенням виробів при збірці вантажопідйомністю до 7 т при відносно малих габаритах і простоті конструкції.

До напільно-вантажного внутрішньо-цехового транспорту відносяться:

- електронавантажувачі і електровізки (електрокари) вантажопідйомністю до 0,5 т;
- електроштабелери підлогові вантажопідйомністю до 2 т;

- транспортні підлогові роботи (рейкові і безрейкові), змонтовані на візках і керовані за програмою.

Монорельсові транспортні роботи (підлогові і підвісні) призначені для міжопераційного і внутрішньо-цехового переміщення деталей і виробів в умовах автоматизованого виробництва. Вони переміщуються по примусовому маршруті, тобто в строгій відповідності із заданою програмою. Мостові і підлогові безрейкові роботи переміщуються по вільному маршруту, тобто між будь-якими позиціями завантаження (розвантаження), що знаходяться в межах обслуговуваної зони.

Підлогові транспортні роботи можуть рухатися:

- 1) уздовж дроту, укладеного на глибині 40-60 мм від поверхні підлоги (по дроту пропускають струм силою в декілька сотень міліампер, з частотою 2...20 кГц і напругою не більше 12 В; створюється змінне електромагнітне поле, за яким стежать датчики транспортного робота);

- 2) по світловідбивній смузі, прикріпленій до підлоги (стеження за трасою здійснюється за допомогою фотопрочитувальних датчиків, що реагують на зміну світлових потоків і виробляють сигнали, що управляють);

- 3) за програмою з використанням гіроскопа.

Технічні характеристики транспортних підлогових монорельсових і безрейкових роботів приведені в табл. 2.6 і 2.7.

Як *накопичувачі* можна використовувати автоматизовані склади, що обслуговуються штабелерами і транспортними роботами, і міжопераційні магазини-накопичувачі (підлогові і підвісні). Магазини-накопичувачі застосовують в умовах потокового виробництва для деталей типу тіл обертання, а підвісні накопичувачі — в основному для корпусних деталей і деталей складної конфігурації.

Кількість підйомно-транспортних засобів для цеху (ділянки) визначають або детально з урахуванням вантажопотоків, маси переміщуваних вантажів, або за даними базового виробництва.

Таблиця 2.6

**Технічні характеристики транспортних монорельсових
роботів(електромеханічний привід)**

Параметри робота	Модель робота					
	ТРМ-50	ТРМ-100	ТРМ-2-250	МИУ-7	РТШ8-50	РТП-250
Вантажопідйомність, кг	50	100	250	250	50	250
Кількість ступенів вільності	2	2	3	3	2	2
Точність позиціонування, мм	+/-10	+/-10	+/-10	+/-3	+/-10	+/-5
Хід, мм: Вертикальний Горизонтальний Горизонтальний захвату	2700 - -	2700 Без граничний -	2800 +/-50	2000 30000 440	2200 Без граничний -	2900 - -
Швидкість переміщення по горизонталі, м/с	1,0	1,0	0,75	0,34	0,5	0,5
Система управління	Локальний автомат без пам'яті	На базі ЄВМ „Електро-ніка”	Позиціонування з автоматичною адресою	Циклова	Циклова	Циклова

Таблиця 2.7

**Технічні характеристики транспортних напільних безрельсових
роботів**

Параметри робота	Модель робота		
	КИС К2.2.0016	Електроніка НЦ-ТМ-03	РБТ-1
Вантажопідйомність, кг	200	500	500
Кількість ступенів вільності	3	3	3
Похибка позиціонування, мм: Поздовжня Поперечна	+/-5 +/-5	+/-5 +/-20	+/-10 +/-5
Переміщення платформи, мм: Вертикальне Горизонтальне	400 -	80 -	50 1030
Кутові переміщення, град	90 180 270	90 180 270	- - -
Сходження за трасою	По гіроскопу	По фотодатчику	По фотодатчику
Швидкість переміщення по трасі, м/с	До 1,4	До 0,8	До 1,0

Вибір транспортно-складських систем для автоматизованих виробництв

При створенні автоматизованих транспортно-складських систем (АТСС) вирішують завдання не тільки зберігання заготовок, деталей, інструменту, оснащення, але і вибору найбільш ефективних, раціональних компоновок обладнання і маршрутів.

Існує два основні конструктивні варіанти побудови АТСС: з суміщеними і роздільними транспортною і складською підсистемами.

На рис. 2.17 показана ГВС з суміщеною транспортно-накопичувальною системою. Верстати 1 розташовані паралельно стелажу-накопичувачу 2. Кран-штабелер 4 переміщається уздовж фронту верстатів і обслуговує як стелаж-накопичувач, так і верстати. По команді від системи управління кран-штабелер забирає з певного осередку стелажу-накопичувача необхідну заготовку і переміщає її на перевантажувальний стіл 3 відповідні верстати. Готові деталі кран-штабелер забирає з перевантажувального столу і переносить у вільні осередки стелажу-накопичувача. В даному випадку не вимагається спеціальної транспортної системи для обслуговування верстатів, оскільки ці функції виконує кран-штабелер.

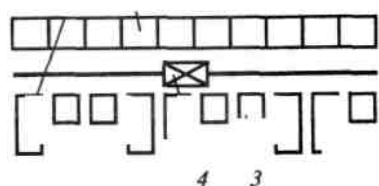


Рис. 2.17. Схема ГВС зі зміщеною транспортно-накопичувальною системою:
1- верстати; 2 – стелажі-накопичувачі;
3 –перевантажувальний стіл; 4 –кран-штабелер

Схема ГВС з роздільною транспортно-накопичувальною системою з чотирма стелажними накопичувачами 7 і двома кран-штабелерами 6 показана на рис. 2.18. У даній системі автоматичний транспортний візок 4, переміщаючись по прямолінійному транспортному рейковому шляху 5, обслуговує декілька одиниць технологічного обладнання. Із стелажного складу 7 кран-штабелер 6 подає заготовки в тарі на перевантажувальний стіл 1. Далі транспортний візок в міру необхідності забирає з перевантажувального столу тару із заготовками і транспортує її до накопичувачів 3 верстатів 2. Встановивши тару із заготовками на накопичувач, перевантажувальний пристрій транспортного візка забирає тару з готовими деталями і транспортує її на перевантажувальний стіл стелажного складу. Потім кран-штабелер по команді від системи управління забирає тару з готовими деталями і встановлює її у вільний осередок стелажу.

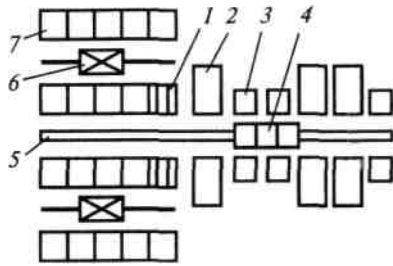


Рис. 2.18. Схема ГВС із роздільною транспортно-накопичувальною системою:

1 — перевантажний стіл; 2 — верстати; 3 — накопичувач; 4 — транспортний візок; 5 — рельсова дорога; 6 — кран-штабелер; 7 — стелажний склад

У приведених компоновках використані автоматизовані стелажні склади-накопичувачі, які призначені для прийому, зберігання, видачі у виробництво і обліку заготовок, основного і допоміжного матеріалів, тари, інструментів, пристосувань, роботів, маніпуляторів, готових виробів, бракованих деталей, відходів виробництва з метою забезпечення ефективного виробничого процесу переналагоджуваної автоматизованої системи.

Залежно від конструктивних особливостей і технічної оснащеності виділяють основні типи автоматизованих складів:

- клітинні стелажні з автоматичним краном-штабелером або мостовим краном-штабелером;
- гравітаційні стелажні з краном-штабелером;
- елеваторні стелажні;
- підвісні у поєднанні зі штовхаючим конвеєром, що має автоматичну адресацію вантажів.

Найбільш поширені склади із стелажними роботами-штабелерами, оскільки вони вельми продуктивні, займають мало місця і їх легко автоматизувати. Робот-штабелер — підлогова рейкова машина, що дозволяє накопичувати заготовки і матеріали в осередках складу і здійснювати видачу заготовок і матеріалів в стандартній тарі або піддонах на приймально-видаючі пристрої складів. Технічні характеристики роботів - штабелерів приведені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8.

Технічні характеристики складських роботів-штабелерів

Параметри	Модель робота-штабелера				
	СА-05	РШ-500	С4225.02	РСК-500	РСК-1000
Вантажопідйомність, кг	500	500	500	500	1000
Габарити тари, мм:					
Довжина	600	800	800	640	1260
Ширина	800	600	600	840	860
Висота	400	320	400	760	750
Висота приміщення, м	3,7...6,2	5,2	6,2	8,0	8,0

Швидкість переміщення, м/хв.:					
Горизонтального	2...63	1...65	2...90	0...132	0...160
Вертикального	2...12	1 18	2...80	0...32	0...32
Видовження захвату	12,0	10,0	10,0	16,0	16,0
Точність позиціонування, мм:					
Горизонтальна	±4	±2	±2	±5	±15
Вертикальна	±4	±4	±2	±5	±15
Видовження захвату	-	±3	±2	±5	±10
Габарити, мм:					
Довжина	3000	3400	2860	—	—
Ширина	700	700	860	—	—
Висота	5400	4760	2800	—	—
Управління	ЭВМ «Электроника-60»	ЭВМ АСВТ М-6000	—	—	—

У одиничному і дрібносерійному виробництві доцільно застосовувати стелажні склади з автоматичними мостовими кранами - штабелерами.

При невеликій номенклатурі вантажів і порівняно великих запасах матеріалів і деталей використовують автоматизовані склади з гравітаційними стелажми. Склади з автоматизованими елеваторними стелажми доцільно застосовувати при малих вантажопотоках, недовгих термінах і запасах зберігання вантажів і малих розмірах самих деталей і виробів.

До технологічного обладнання автоматизованих складів відносять:

складську тару;

стелажі;

крани-роботи-штабелери;

перевантажувальні пристрої.

Вибір типу обладнання складу здійснюють з урахуванням вантажопотоків ділянки або цеху, конструктивно-технологічних особливостей виробів і заготовок, термінів зберігання, вживаного на ділянці технологічного обладнання.

Компоновка складів залежить від типу і характеру виробництва, виробничої програми, внутрішньо-цехового і внутрішньо-системного транспорту, характеристик виробничої будівлі, де розміщується проектована ділянка або цех, а також від типу і обладнання самих складів, їх основних параметрів.

Найбільш раціональна компоновка складів в АВС, коли вони максимально наближені до технологічного обладнання. При цьому кран-штабелер виконує не тільки функції складування, але і розподіляє по робочих місцях матеріали, заготовки, вироби, тобто стикає склад з технологічним

комплексом. Один або декілька стелажів складу розміщують уздовж виробничої ділянки поряд з обладнанням.

При лінійних компоновках АВС склади розташовують в торцях виробничої ділянки і оснащують стелажними або мостовими автоматичними кранами - штабелерами (рис. 2.19). При невеликих вантажопотоках роботи - штабелери використовують як транспортно-складські роботи і для подачі заготовок на перевантажувальні пристрої. Мостові крани-штабелери використовують при менших вантажопотоках і великих об'ємах зберігання матеріалів, заготовок, готових виробів.

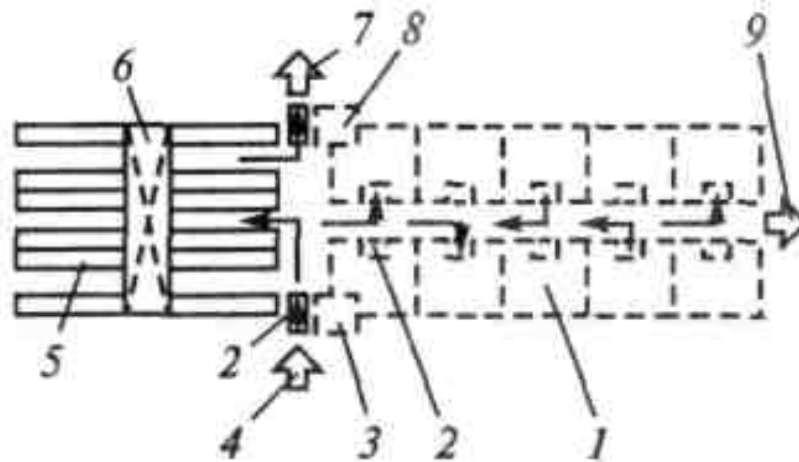


Рис. 2.19. Лінійна компоновка складу ГВС :

1 — виробнича ділянка; 2 — перевантажні пристрої та накопичувачі; 3 — ділянка вхідного контролю; 4 — прибуття матеріалів, заготовок, інструмента, тари; 5 — склад матеріалів, заготовок, інструмента, тари, готових виробів ; 6 — мостовий складський робот; 7— вихід готових і бракованих виробів; 8— ділянка ОТК; 9 — вихід відходів виробництва

При великій потрібній місткості складу і невеликій номенклатурі матеріалів, що зберігаються, заготовок, виробів доцільна компоновальна схема з блоковим гравітаційним складом, яка дозволяє ефективно використовувати площу і об'єм виробничої будівлі (рис. 2.20). Для подібних складів можлива компоновка з перпендикулярним в плані розташуванням стелажів по відношенню до рядів верстатів або лінійна компоновка, при якій стелажі орієнтовані в тому ж напрямі, що і ряди верстатів виробничої ділянки. Останні ТНС широко використовують в дрібносерійному виробництві на наочно-замкнутих ділянках.

Перевагу застосування того або іншого варіанту компоновок і технічного оснащення визначають розрахунком.

При проектуванні автоматичних складів визначають:

- функції складу;
- потрібну місткість;
- параметри складу;
- вибирають або проектують нестандартне обладнання;
- вибирають системи автоматичного управління;

- техніко-економічні показники.

Потрібну місткість складу встановлюють відповідно до нормативних запасів вантажів, що зберігаються на складі.

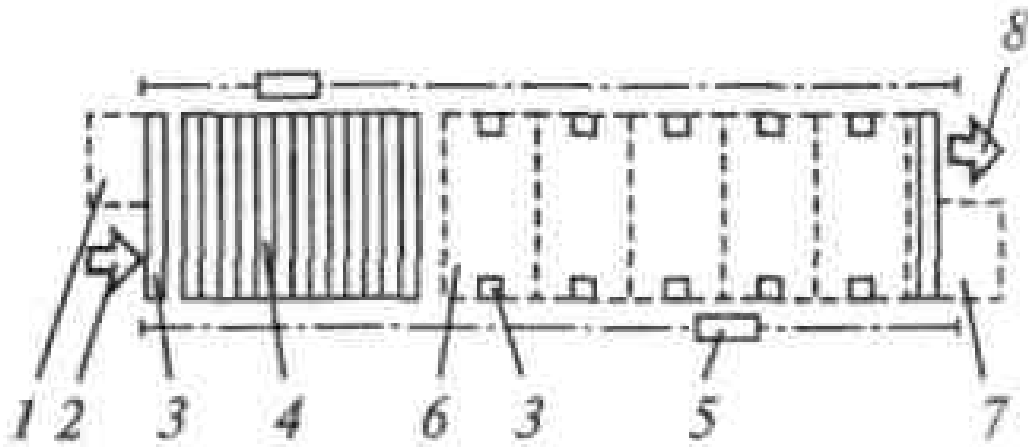


Рис. 2.20. Бокова компоновка складу ГВС :

1 — ділянка вхідного контролю; 2 — прибуття матеріалів, заготовок, інструмента, тари; 3 — перевантажні пристрої та накопичувачі; 4 — гравітаційний склад заготовок, інструмента, тари, готових виробів; 5 — виробнича ділянка; 6 — транспортно - складський робот; 7 — ділянка ОТК; 8 — вихід готових і бракованих виробів

2.4. Особливості конструкцій інструменту і пристосувань в автоматизованому виробництві

Найбільш значні втрати часу при механічній обробці в умовах АВ пов'язані з транспортуванням, установкою, закріпленням, зніманням і налагодкою інструменту і пристосувань. Тому забезпечення підвищеної продуктивності, надійності, гнучкості технологічних процесів визначає роль і місце інструментального оснащення і пристосувань в АВ. Інструментальне оснащення АВ складається не тільки з ріжучого і допоміжного інструментів, але і приладів настройки ріжучого інструменту і інструментальних головок поза верстатом, системою автоматичної зміни інструментів, системи підналагодження ріжучого інструменту, системи діагностики і контролю стану інструменту і обладнання.

Інструментальне оснащення АВС

Інструментальне оснащення АВС має свою специфіку по конструктивному оформленню, якості і точності виготовлення. Її проводять з жорсткими вимогами за умовами взаємозамінності, вона повинна бути жорсткішою, масивнішою і вібростійкою, чим в умовах неавтоматизованого виробництва.

Для забезпечення заданої точності при обробці широкої номенклатури складних і часто дорогих деталей без застосування спеціальних пристосувань ріжучий інструмент повинен володіти: високою ріжучою здатністю і надійністю (завдяки використанню найбільш досконалих інструментальних матеріалів); підвищеною точністю (за рахунок виготовлення інструментів по спеціальних посилених стандартах); універсальністю, що дозволяє обробляти складні деталі за один автоматичний цикл; високою жорсткістю і вібростійкістю; швидкозмінністю; можливістю автоматичної настройки і піднастройки.

Матеріал ріжучого інструменту, що працює в АВ, повинен забезпечувати стабільність ріжучих властивостей: підвищену загальну і особливо розмірну стійкість; міцність і надійність інструменту. Існує ряд шляхів реалізації вказаних вимог:

- застосування дорогих, але таких, що володіють високими ріжучими властивостями, швидкокорізальних сталей (P18, P18Ф2, P18K5, P18Ф2K5, P14Ф4, P10K5Ф5, P9K5, P9Ф5);
- забезпечення дрібнозернистої структури сталей (наприклад, за рахунок додавання ванадію);
- забезпечення балокарбідної неоднорідності (два і менше) за рахунок багатократного проковування;
- застосування твердих сплавів, що володіють перш за все підвищеною зносостійкістю (сплави з високим вмістом титана (Ti) і низьким вмістом кобальту (Co));
- застосування зносостійких покриттів (азотування, карбонітрація, плазмове напилення і ін.).

Тверді сплави схильні до зафарбовування, тому при роботі з ударними навантаженнями краще застосовувати сплави з високим вмістом кобальту, наприклад, твердий сплав ВК8, що мають невисоку розмірну стійкість, але дуже високу стійкість до ударних навантажень (за рахунок великого відсотка вмісту кобальту, що грає роль елемента, що пов'язує). Підвищену зносостійкість мають сплави з великим змістом титану. Наприклад, сплав Т30К4 (30 % Ti і 4 % Co) має підвищену зносостійкість, проте він дуже крихкий, тому його не можна застосовувати для роботи з ударними навантаженнями і вібраціями.

Для забезпечення необхідної точності обробки, розмірної стійкості і швидкозмінності інструменту в умовах АВ застосовують змінні багатогранні пластини (ЗБП), які механічно кріпляться в гнізді державки. У комплект постачання одного інструменту може входити декілька десятків ріжучих пластин з твердих сплавів і композитів, зокрема із зносостійкими покриттями.

Наступним кроком у напрямі вдосконалення інструменту для АВ з'явилася система блокового інструменту, вперше запропонована фірмою «Сандвік коромант» (Швеція). Суть системи полягає в тому, що державку різця роблять з двох частин: корпуси і головки. Корпус постійно закріплений в супорті або револьверній головці, а при автоматичній зміні інструменту замінюється

тільки головка, забезпечена ЗБП. У міру зношування пластина повертається або замінюється. При цьому використовують малогабаритні маніпулятори і магазини для розміщення головок.

На багатоопераційних верстатах з ЧПУ і гнучких виробничих модулях застосовують ті ж ріжучі інструменти, що і на окремих верстатах з ЧПУ (токарних, фрезерних, свердлувальних і ін.). Відмінність полягає в тому, що і універсальний, і спеціальний ріжучий інструмент включений до складу системи інструментального оснащення, основою якого служить універсальна уніфікована підсистема допоміжного інструменту, призначена для верстатів різних моделей. У підсистему входять набори облямовувань, цангових патронів, перехідних втулок, державок і інших пристосувань, які необхідні для виконання всіх основних видів обробки поверхонь деталей.

Типові оправки для кріплення ріжучого інструменту на устаткуванні з ЧПУ мають наступні характерні поверхні:

- для силового затиску оправки в шпинделі верстата і в деяких випадках для установки елементів, що кодують номер інструменту;
- для базування в шпинделі верстата;
- що контактують із захопленнями автоматичної руки;
- для установки і закріплення ріжучого і допоміжного інструментів.

Допоміжний інструмент служить для з'єднання ріжучих інструментів з шпинделями верстатів або супортами. Конструкція допоміжного інструменту визначається приєднувальними поверхнями, призначеними для кріплення на верстаті і ріжучому інструменті. При виборі оптимальних конструкцій допоміжного інструменту керуються наступними критеріями: універсальність, жорсткість, швидкозмінність, переналагодженість, надійність, які визначають, виходячи з основного (інтегрального) критерію — ефективності експлуатації.

Допоміжний інструмент, як правило, є багатоінструментальною головою, яку настраюють і замінюють залежно від стійкості «лімітуючого інструменту», тобто інструменту, що працює в найбільш напруженому ритмі. Швидка зміна багатоінструментальної державки дає можливість понизити втрати по інструменту.

Істотною особливістю верстатів з ЧПУ у складі АВС є висока концентрація обробки. Чим вище ступінь концентрації, тим вище ефективність обробки. Система забезпечення інструмента не повинна перешкоджати підвищенню концентрації обробки. На практиці це положення реалізують за допомогою інструментальних магазинів, маніпуляторів для зміни інструментів, систем корекції траєкторії інструментів у поєднанні з системами автоматичної розмірної настройки і завантаження інструментальних комплектів в магазини.

До приєднувальних поверхонь допоміжного інструменту пред'являють досить жорсткі вимоги: шорсткість повинна знаходитися в межах $Ra = 0,2 \dots 0,8$ мкм; твердість $HRC_3 = 50-60$.

Для деталей з приєднувальними поверхнями рекомендують сталь 18ХГТ з цементацією на глибину 0,1... 1,2 мм і подальшим гартуванням.

Для виготовлення затискних цанг рекомендується сталь марки 60С2А з гартуванням $HRC_e = 45-55$. Повідці і сухарі для передачі моментів, що крутять, виготовляють із сталі 40Х з гартуванням $HRC_e = 45-50$.

Для верстатів різних моделей розроблена уніфікована підсистема допоміжного інструменту, що складається з оправок, цангових патронів для кріплення інструменту, що обертається, перехідних втулок, державок для патронів, розточувальних головок і інших елементів. У всіх допоміжних інструментів, використовуваних в АВС, передбачені спеціальні місця для захоплення їх автооператором при зміні, а також спеціальні елементи (кодові кільця, різьбові штирі, кодові гребінки) для кодування і пошуку інструментів в інструментальних наладках і магазинах.

Кодування інструментів особливо необхідне при їх використанні на багатоопераційних верстатах з ЧПУ, в інструментальних магазинах яких може зберігатися більше 100 різних інструментів. По конструктивному виконанні магазини різноманітні (дискові, ланцюгові, касетні і ін.). Магазин розташовують на бабці шпинделя, колоні, столі, поза верстатом на окремому фундаменті. При багатоінструментальній обробці всі інструменти повинні працювати в певній послідовності відповідно до програми, що управляє (УП). Тому необхідна система пошуку і кодування інструменту. У конструкціях БВ застосовують три системи пошуку ріжучого інструменту:

- з кодуванням номера інструменту;
- з кодуванням номера гнізда інструменту;
- без кодування, але з розташуванням інструменту в послідовності обробки по УП.

Окрім вказаних вимог в умовах переналагоджуваного АВ необхідно забезпечити стиковку і взаємодію всіх елементів інструментального оснащення з системами контролю і діагностики, транспортування і складування, з АСУ ТП, САПР, АСУВ.

Розмірна настройка інструменту

Настройку ріжучого інструменту в умовах АВ можна проводити поза верстатом по методу повної і неповної взаємозамінності і на верстаті з використанням верстатних засобів контролю. Для настройки ріжучого інструменту поза верстатом застосовують спеціальні багатокоординатні оптичні пристосування, і хоча час настройки є суміщеним, потім, як правило, потрібна додаткова настройка за наслідками пробного проходу (метод неповної взаємозамінності). Крім того, настройка поза верстатом не може усунути погрішності, що виникли в результаті багатократного використання одного і того ж інструменту, вона вимагає спеціального обладнання і виробничих площ для його установки.

Переважний в умовах АВ метод настройки за наслідками вимірювання деталей на верстаті, що характерний для обробки корпусних деталей, і ріжучих кромки самого інструменту. Ефективним рішенням є оснащення верстатів автоматичними системами комбінованої настройки за наслідками вимірювання деталі і інструменту (рис. 2.21.), розробленими в Уральському політехнічному університеті.

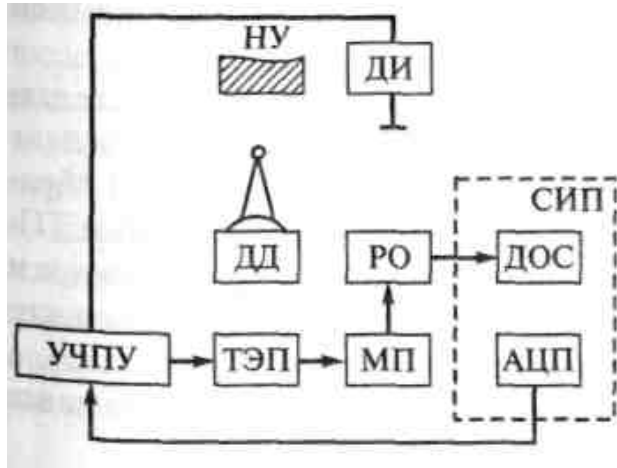


Рис. 2.21. Структурна схема автоматичної системи розмірної настройки для однієї координати:

УЧПУ — пристрій ЧПУ типу CNC;

ТЭП — транспортний електропривід; МП — механічна передача; РО — робочий орган верстата; СИП — система вимірювання положення робочого органа верстата; ДОС — датчик

оборотного зв'язку по положенню робочого органу верстата; АЦП — аналого-цифровий перетворювач; ДИ — датчик положення інструменту; ДД — датчик положення контрольованої поверхні деталі; ДУ — упор

При обробці заготовок на автоматизованому устаткуванні необхідно забезпечити стабільність розмірів оброблюваних поверхонь. Це можна зробити за рахунок компенсації впливу розмірного зносу шляхом автоматичного введення підналагоджувальних імпульсів при обробці для переміщення інструменту до деталі, тобто в «плюс», або від деталі, тобто в «мінус». Величина переміщень і їх частота залежать від зносу інструменту, визначуваного умовами обробки, матеріалом інструменту і деталі, геометрією і стійкістю інструменту. Для здійснення піднастройки використовують результати вимірювання як деталі, так і інструменту на верстаті. Поточне значення вильоту інструменту порівнюють із заданим за програмою. Величину розузгодження використовують для корекції програми, що управляє. Аналогічно використовують результати вимірювання поточних розмірів деталей.

Застосування пристосувань в умовах автоматизованого виробництва

Способи базування, фіксації і заміни виробів в АВ характеризуються підвищеною надійністю, точністю установки, уніфікацією елементів базування і закріплення, зручністю автоматичної установки виробів в пристосуванні. Базові поверхні ті ж, що і для умов неавтоматизованого виробництва (центрові гнізда, торці, площини, розточування), але при виборі

базових поверхонь необхідно забезпечувати принцип концентрації обробки і можливість застосування автооператорів при установці і знятті деталей.

Для ефективного використання технологічних можливостей всього обладнання АВС верстатні пристосування крім точності, жорсткості повинні задовольняти вимогам по забезпеченню: базування і закріплення широкої номенклатури виробів за допомогою простих налагоджувальних елементів, точної орієнтації в координатній системі верстата, вільного доступу інструменту до всіх оброблюваних поверхонь.

Для установки деталей в АВ застосовують автоматизовані стаціонарні пристосування і пристосування-супутники. Останні служать для установки заготовок не тільки для їх подальшої обробки, але і транспортування відповідно до вимог ТП. Встановлена на супутнику деталь або група деталей закріплюється і переходить від операції до операції, розвантажуючись в кінці технологічного процесу і повертаючись в його початок для нового завантаження.

Розрізняють три види стаціонарних пристосувань: спеціальні (одно цільові, переналагоджувані), спеціалізовані (вузькоцільові, обмежено переналагоджувані), універсальні (багатоцільові, широко переналагоджувані). Як стаціонарні пристосування і змінні наладки пристосувань-супутників в переналагоджуваному багатомономенклатурному виробництві застосовують стандартні системи пристосувань: універсально-збірні (УЗП), універсально-налагоджувальні (УНП), збірно-розбірні (ЗРП), спеціалізовані налагоджувальні (СНП) і інші системи багатократного застосування. Ці пристосування складаються з базового агрегату і наладок, які встановлюють на базовий агрегат і регулюють безпосередньо на столі верстата або нижній плиті супутника. На відміну від дрібносерійного виробництва, де застосовують немеханізовані налагоджувальні пристосування, в автоматизованому серійному і великосерійному виробництві застосовують пневматичні або гідравлічні пристосування. Спеціалізовані налагоджувальні системи мають спеціалізовані базові агрегати для установки геометрично подібних заготовок, а універсально-налагоджувальні пристосування — універсальні базові агрегати для установки різних заготовок.

Характерною особливістю пристосувань є їх швидка переналагоджуваність на основі уніфікації елементів базування, фіксації, закріплення. Як основні і допоміжні опори пристосувань застосовують опорні пластини, опорні шайби, настановні пальці, центри, призми, настановні облямовування, патрони. До точності виготовлення опор пред'являють підвищені вимоги, оскільки від неї залежать величини погрешності базування виробу і пружних деформацій при закріпленні і обробці.

Положення виробів на настановних поверхнях пристосувань уточнюють за допомогою фіксаторів, які бувають рухомими і нерухомими. Число фіксаторів в пристосуванні повинне бути мінімальним (Один-два).

Установка виробу в пристосування здійснюється в певній послідовності: попереднє положення (орієнтування) визначається настановними

елементами, а остаточне — після введення фіксаторів в отвори або пази виробу. Закріплення виробу проводиться спеціальними затисками після фіксації.

Як затискні механізми автоматизованих пристосувань використовують важелі, клинові, клиново-плунжерні, важільно-шарнірні, рейкові, гвинтові і інші механізми. Необхідною умовою надійної і тривалої роботи пристосувань є застосування в них спеціальних блокувальних пристроїв, що не допускають перевищення сил затиску більше заданої величини щоб уникнути підвищених деформацій виробів і корпусів пристосувань.

Приводи механізмів затиску повинні забезпечувати можливість регулювання сили затиску в певних межах. Цій вимозі задовольняють гідроприводи, пневмо-гідроприводи і пневмоприводи. Окрім них в автоматизованих пристосуваннях використовують магнітні і електромагнітні, вакуумні, електромеханічні приводи.

Якщо конструкція виробу не дозволяє встановлювати і закріплювати його в стаціонарному пристосуванні, то такий виріб встановлюють в пристосуваннях-супутниках, які можна розділити на дві групи: супутники, на яких виріб тільки базується, а закріплення супутника з виробом проводиться в стаціонарному верстатному пристосуванні; супутники, на яких виріб і базується, і закріплюється. У пристосуваннях верстатів кріпляться тільки супутники.

Установку, закріплення і видалення виробів з супутника після виготовлення проводять вручну або автоматично спеціальними пристроями, встановленими на завантажувальній і розвантажувальній позиціях на початку і в кінці АЛ або ділянки. Закріплення здійснюється різними захватами за допомогою різьбових затисків.

Пристосування-супутник складається з двох частин: нижньої нормалізованої з прикрученими елементами для базування і фіксації на верстатах і верхньої спеціальної (змінної наладки) для установки і закріплення виробів. Залежно від кількості встановлюваних виробів пристосування-супутники підрозділяються на одно- і багатомісні. Одномісні пристосування застосовують для виготовлення крупних виробів, а багатомісні — для середніх виробів.

На супутниках можна обробляти корпусні деталі, плити, важелі, шатуни і навіть деталі у формі тіл обертання. Застосування цих пристосувань забезпечує правильну орієнтацію виробів при переміщенні від однієї робочої позиції до іншої, можливість застосування нормалізованих конструкцій верстатних пристосувань для закріплення супутників. Але при цьому зростає погіршеність базування виробів, що можна врахувати при наладці обладнання, ускладнюються транспортні пристрої АВС, збільшується займана її площа.

Методика розрахунку і проектування всіх пристосувань, вживаних в умовах АВ, повинна передбачати можливість їх швидкого

переналагодження і обробки заготовок із змінними або збільшеними припусками, що необхідне в умовах широкономенклатурного виробництва.

2.5. Компонувальні схеми автоматизованих виробничих систем

Компоновка автоматизованих систем визначається ТП, конструктивно-технологічними особливостями, заданим об'ємом випуску виробів, конкретними умовами виробництва і характеризується структурою технічних засобів і схемою їх розташування.

Структура технічних засобів — якісний і кількісний склад основного і допоміжного обладнання — залежить від характеру виробничого процесу і об'єму випуску виробів. Наприклад, форма спеціалізації виробничої системи визначає однотипність і взаємозамінність технологічного обладнання; наявність міжопераційних заділів викликає необхідність включення в АВС магазинів-накопичувачів; міжопераційна передача деталей в процесі обробки вимагає єдиної транспортної системи, а робота за принципом склад — верстат — склад — локальних транспортних систем. Необхідність міжопераційного контролю вимагає організації контрольних постів (осередків), а застосування автоматизованих засобів контролю в процесі обробки деталей у складі обладнання приводить до відсутності контрольних осередків усередині АВС. Від прийнятої системи управління і ступеня її автоматизації залежить включення в компоновку пристроїв, що управляють (диспетчерських пультів, систем ЧПУ, засобів збору і передачі інформації, ЕОМ різного рівня).

Основні чинники, що впливають на склад елементів компоновки, тобто на структуру технічних засобів:

- форма спеціалізації ділянки, цехи;
- тип обладнання;
- особливості транспортно-накопичувальної і складської системи (наявність міжопераційних заділів, робота за принципом склад - робоче місце, автоматизація міжопераційної передачі виробів);
- особливості системи інструментального забезпечення (жорстке оснащення верстата, комплектування магазину на складі);
- особливості системи контролю (види контролю, вживані засоби);
- особливості системи прибирання стружки (механізовано-ручна, автоматизована);
- тип і принципи системи управління (локальне управління компонентами системи, групове управління обладнанням, комплексно автоматизоване управління).

Схеми розташування елементів АВС також залежать від характеру виробничого процесу і конкретних виробничих умов (наявність виробничих площ, розміщення АВС в цеху, розташування комунікацій).

При визначенні структури технічних засобів повинен реалізовуватися системний підхід до аналізу і синтезу АВС як складних технічних систем (СТС). Системний аналіз включає:

- класифікацію АВС за ознакою складності;
- формулювання (виділення) системних властивостей АВС;
- введення понять структур АВС як способів організації внутрішньо-системних зв'язків;
- формування критеріїв ефективності функціонування АВС.

Результати аналізу спільно з відповідними базами даних використовують для подальшого структурного синтезу автоматизованих систем. У базах даних зберігається інформація про класифікацію об'єктів виробництва, групових ТП, конструктивно-технологічних параметрах обладнання, компоновальних вирішеннях АВС і так далі. Ефективність роботи з базами даних при ухваленні рішень безпосередньо залежить від ступеня використання інформаційних технологій як при системному аналізі, так і при системному синтезі структур АВС.

Синтез конкретної структури припускає її виділення з безлічі можливих варіантів з використанням критеріїв ефективності функціонування АВС, сформованих на стадії системного аналізу. Для оцінки результатів синтезу структури проводиться математичне моделювання роботи спроектованої АВС з подальшим аналізом результатів моделювання.

Зважаючи на складність вирішуваних завдань і великого об'єму інформації, що переробляється, при аналізі і синтезі структур АВС доцільно використовувати методи пошукового конструювання, що забезпечують вибір структури автоматизованої системи по заданих критеріях (пряме завдання) і визначення області її раціонального застосування по відомих параметрах (зворотне завдання).

Залежно від прийнятого розділення виробничого процесу розрізняють АВС з наочною (зокрема наочно-замкнутою) і з технологічною формами спеціалізації. У наочно-замкнутих системах повністю або частково виготовляють одне або групу виробів, в системах з технологічною спеціалізацією виконують окремі види робіт для широкої номенклатури виробів.

На наочно-замкнутих ділянках виділяють зони обладнання з ЧПУ і зони обладнання з ручним управлінням. Розрізняють також зони попередньої, основної і остаточної обробки. У зонах попередньої і остаточної обробки застосовують в основному обладнання з ручним управлінням.

На рис. 2.22 представлений варіант компоновки наочно-замкнутої ділянки, де зони обробки деталей на верстатах з ЧПУ і ручним управлінням розділені автоматизованим складом. У середині зон може бути передбачена міжопераційна передача деталей. Аналогічну компоновку можуть мати ділянки з технологічною формою спеціалізації, де в зонах 3 і 5 виконуються певні види робіт на однотипному устаткуванні для різних виробів.

На наочно-замкнутах ділянках у зв'язку з різним часом $T_{шт}$ по операціях з'являється необхідність створення міжопераційних заділів і, отже, розміщення магазинів-накопичувачів усередині виробничої системи. Варіанти розташування магазинів-накопичувачів на ділянці представлені на рис. 2.23.

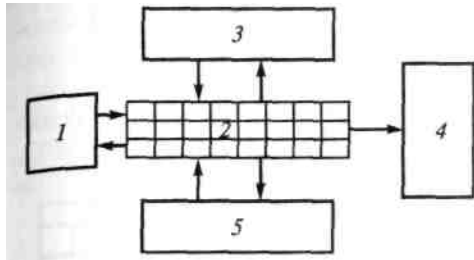


Рис. 2.22. Варіант компоновки предметно-замкнутої ділянки: 1 — зона підготовки баз; 2 — автоматизований склад; 3 — зона верстатів з ЧПУ; 4 — цехи-споживачі; 5 — зона верстатів з ручним керуванням

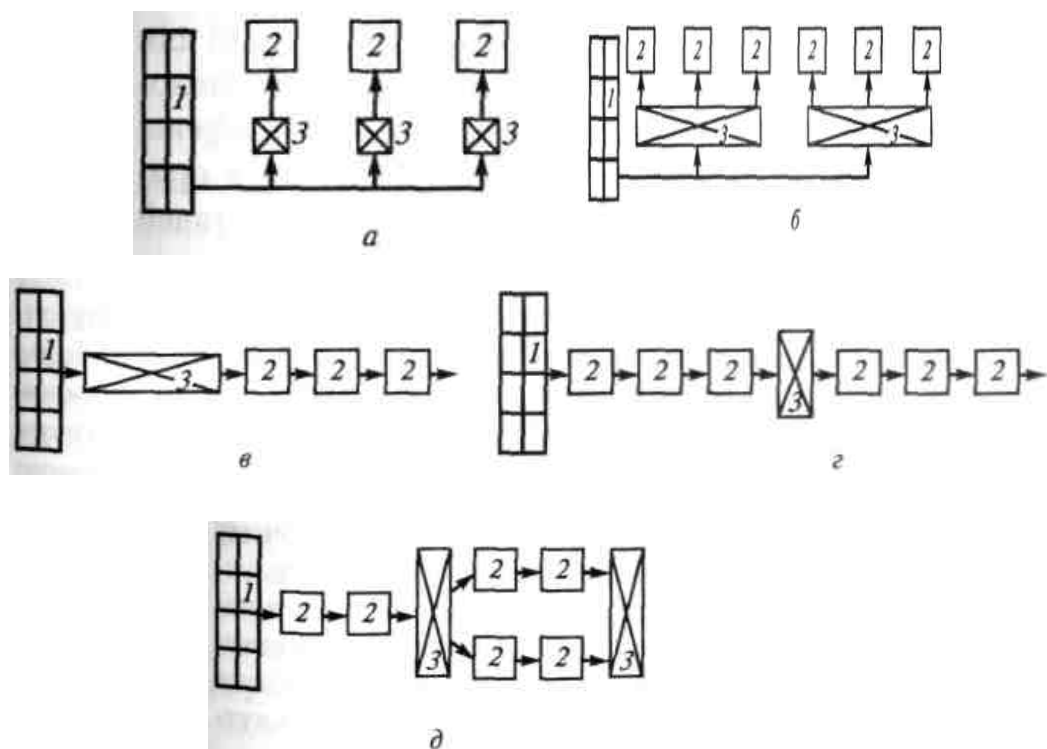


Рис. 2.23. Варіанти розташування магазинів-накопичувачів на ділянці: а — магазин-накопичувач у кожного верстата; б — магазин-накопичувач на групу верстатів; в — єдиний магазин-накопичувач на початку ділянки; з — єдиний магазин-накопичувач у середині ділянки; д — проміжні магазини-накопичувачі; 1 - автоматизований склад; 2 – обробляюче обладнання; 3 - магазини-накопичувачі

Транспортна система може бути локальною і єдиною для всього підрозділу. По розташуванню розрізняють лінійні і кругові транспортні системи (рис. 2.24). Розташування обладнання усередині зон обробки таке ж, як і в звичайних підрозділах: послідовне, паралельне, змішане.

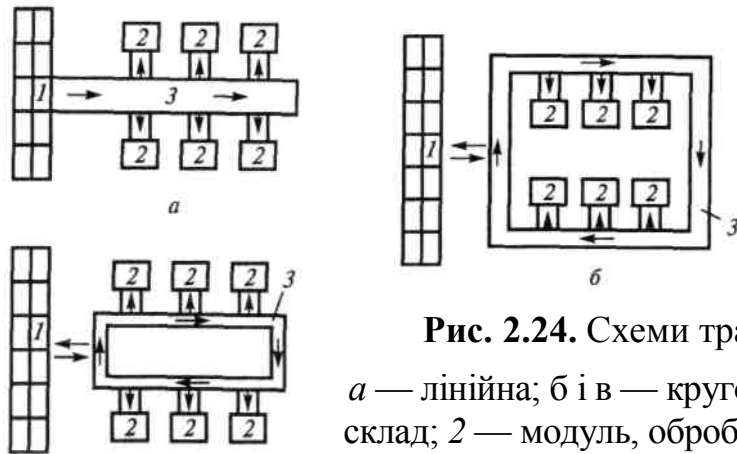
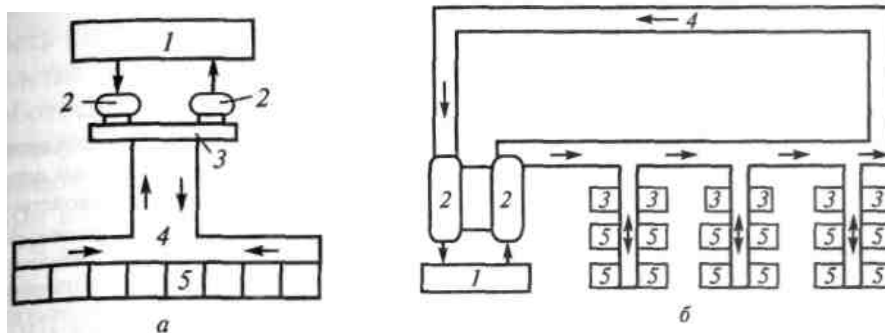


Рис. 2.24. Схеми транспортних систем:

a — лінійна; *б* і *в* — кругові; 1 — автоматизований склад; 2 — модуль, оброблюваний центр, верстат з ЧПУ; 3 — транспортна система

При застосуванні пристосувань-супутників в компоновці ділянки необхідно передбачити навантажувально-розвантажувальні позиції або станції для установки і знімання деталей і пристосувань. Розташування цих позицій або станцій на ділянці залежить від прийнятої системи забезпечення оброблювального обладнання деталями в пристосуваннях-супутниках і співвідношення часу обробки деталей на верстаті і часі установки-зняття деталі.

Якщо установка проводиться на складі, то навантажувально-розвантажувальні позиції розташовують у відділенні складу (рис. 2.25, г). При великому часі $T_{\text{МАШ}}$ і відносно малих $T_{\text{ВСП}}$ (час установки-зняття) забезпечують навантажувально-розвантажувальні позиції всіх верстатів ділянки через загальний накопичувач (рис. 2.25, а) або безпосередньо подають деталі до робочих місць. У цьому випадку до кожного робочого місця деталі в пристосуваннях доставляють або за допомогою транспортної системи безпосередньо на верстати (рис. 2.25, в), або в накопичувачі до кожного робочого місця, або в накопичувачі для груп верстатів (рис. 2.25, б). При певному співвідношенні $T_{\text{МАШ}}$ і $T_{\text{ВСП}}$ можлива установка навантажувально-розвантажувальних позицій на групу верстатів усередині підрозділу (рис. 2.25, г).



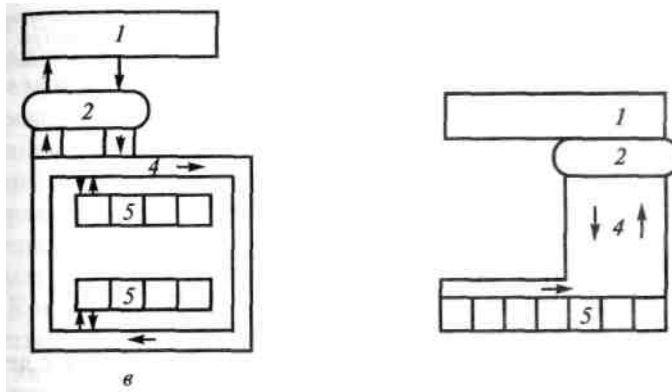


Рис. 2.25. Варіанти схем положення навантажувально-розвантажувальних позицій у виробничих системах:

1 — автоматизований склад; *2* — навантажувально-розвантажувальний пристрій; *3* — накопичувач; *4* — транспортна система; *5* — оброблюване обладнання

Залежно від прийнятої форми організації виробництва, розробленого ТП обробки і збірки виробів, рівня його продуктивності, гнучкості і автоматизації виділяють три основні групи компоновальних схем АВС.

До першої групи відносять АВС, організовані за принципом ділянок для дрібно- і середньосерійного виробництв з автоматизацією транспортно-складських операцій. До складу таких АВС включають верстати з ЧПУ для виготовлення закріпленої за системою номенклатури виробів, а також універсальне або спеціалізоване обладнання, не оснащене ЧПУ.

На рис. 2.26 показана переналаджувана система для обробки корпусних деталей в умовах багатноменклатурного дрібносерійного виробництва. Основні операції, вироблювані в системі: фрезерування, розточування, розгортання, нарізування різьблення. Заготовки подаються в супутниках спеціальним пристроєм. Запас супутників з деталями тимчасово зберігається на складі матеріалів. Супутник з деталлю подається на оброблювальний центр по команді з центру управління. Застосовують групове управління верстатами ЕОМ. Оброблені деталі знімають з супутників на лінії демонтажу і автоматично поміщають на складі готових деталей.

До другої групи входять спеціалізовані АВС для обробки або збірки невеликої групи конструктивно-однорідних виробів з незначними відмінностями в елементах конструкції і способах їх з'єднання в умовах великосерійного виробництва. Причому номенклатура виробів, що виготовляються, стабільна і, як правило, відома при створенні системи. До складу таких АВС можуть входити спеціалізоване оброблювальне і складальне обладнання, агрегатні багатшпиндельні верстати з ЧПУ, обладнання, оснащене багатшпиндельними насадками. Передача деталей між верстатами при послідовній обробці може здійснюватися за допомогою конвеєра, а завантаження-розвантаження обладнання — маніпулятором з

механічним приводом. Кожен верстат системи прагнуть спроектувати так, щоб забезпечити умову $T_{ВСП} \rightarrow \min$.

До третьої групи відносять багатоуніверсальні АВС, призначені для обробки дрібних серій різнорідних деталей з номенклатурою, що змінюється. Такі системи повинні забезпечувати можливість переходу на виробництво нових деталей без зупинки виробництва, зниження витрат на технологічне оснащення, збереження працездатності при частковому виході з ладу обладнання і високий ступінь завантаження обладнання. Тому в цих АВС застосовують, як правило, однотипні верстати з широкими технологічними можливостями.

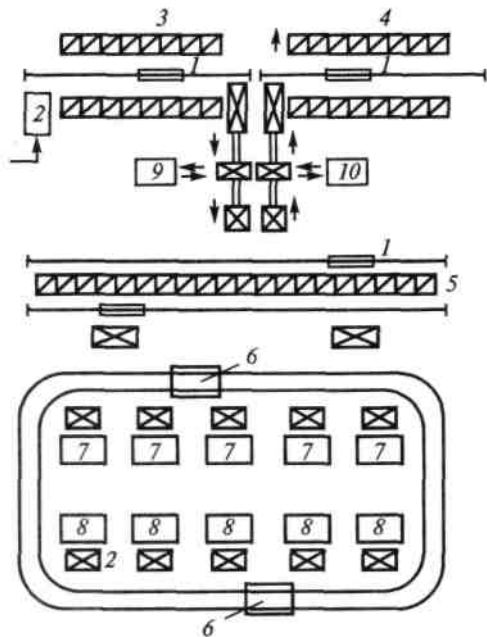


Рис. 2.26. Компоновка гнучкої системи для обробки корпусних деталей (дрібносерійне виробництво):

- 1 — кран-штабелер; 2 — навантажувально-розвантажувальний станція; 3 — автоматичний склад заготовок; 4 — автоматичний склад готових деталей; 5 — проміжний склад супутників і деталей; 6 — автоматичний транспортний візок з блоком пам'яті; 7 — фрезерні верстати з ЧПУ; 8 — обробляючий центр; 9 — пристрій для закріплення і установки деталей в супутник; 10 — демонтаж супутників з деталями

До складу АЦ, як АВС більш високого рівня організаційної структури виробництва, входять АЛ і (або) АД, призначені для виготовлення виробів заданої номенклатури. Ця номенклатура значно ширша, ніж номенклатура виробів, що виготовляються на окремих АЛ і АД, що і є основною причиною об'єднання переналагоджуваних АЛ і АД в загальну цехову структуру. Графічно це об'єднання представляють у вигляді компоновального плану (схеми) цеху, на основі якого надалі розробляють планування обладнання. Призначення компоновального плану — взаємна ув'язка вхідних до складу цеху ліній, ділянок, відділень, вибір оптимального напрямку виробничого процесу з найкоротшими шляхами переміщення об'єктів і засобів виробництва, раціональними схемами матеріальних і інформаційних потоків.

Компоновка нерозривно пов'язана з прийнятою формою організації виробництва і загальним потоком виробничого процесу в цеху. Оскільки АД і АЛ є автономні виробничо-технологічні АВС і організаційно-технічні структури (ОТС), то об'єднуючим чинником для них є наявність єдиної транспортно-складської системи (як правило, автоматизованою) і

автоматизованої системи організаційно-технологічного управління (АСУ ОТ). При визначенні складу АЦ механічної обробки і збірки основною вимогою є забезпечення закінченого циклу виготовлення виробів заданої номенклатури і об'єму.

У механічних цехах багатомономенклатурного дрібносерійного виробництва з переважанням наочно-замкнутих ділянок передбачають їх розташування відповідно до прийнятої структури транспортно-складської системи; склад вхідних в цех ділянок визначається виглядом і характером виробництва. Для складальних цехів дрібно- і середньосерійного виробництва характерне розділення на вузлову і загальну збірку із спеціалізацією автоматизованих робочих місць (крупні, середні, дрібні вузли і т. д.).

У механо-складальних цехах середньо- і великосерійного виробництв, для яких характерні потокові лінії різних типів (у тому числі і автоматизовані), прийнято розташовувати лінії уздовж прольотів цеху, а позиції збірки (загальної і вузлової) — перпендикулярно напрямкам потоків ліній механічної обробки.

Лекція №3

Тема лекції «НАДІЙНІСТЬ, КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ»

План лекції

3.1. Основні поняття теорії надійності

3.2. Методи підвищення надійності автоматизованих систем

Ухвалення рішень на початкових стадіях проектування

Надмірність і резервування

Вибір оптимальних параметрів шорсткості і підвищення зносостійкості

Вибір методів зміцнення

Нові концепції створення і підвищення рівня надійності ріжучого інструменту АВ

3.3. Контроль і діагностика якості продукції

Мета і задачі технічної діагностики

Види технічної діагностики

Функціональні моделі об'єктів діагностики

Класифікація методів діагностування технологічного обладнання

Прогнозування відмов технологічного обладнання

Система діагностування ріжучого інструменту

Метод спектрографії діагностування технологічного обладнання

Конспект лекції

3.1. Основні поняття теорії надійності

Не дивлячись на різноманітність верстатів, формування показників надійності відбувається по загальних законах, що є основою для оцінки і прогнозування надійності при створенні виробничих систем.

Надійність — найважливіший показник якості виробів — повинна забезпечуватися на всіх стадіях життєвого циклу машин (проектування — виготовлення — експлуатації). Із-за низької надійності витрати на ремонт і технічне обслуговування машин перевищують їх початкову вартість у декілька разів (у автомобілів—до 6, у верстатів — до 8 разів).

Низький рівень надійності технологічного обладнання не дозволяє забезпечити ефективність виробничих процесів, високу продуктивність і якість продукції, що випускається. Крім того, низький рівень надійності приводить до важких наслідків (аварії, загибелі людей і дорогої техніки).

Терміни і визначення по надійності стандартизовані. Об'єкт (машина, верстат, модуль) може знаходитися в одному з наступних станів: справному, несправному, працездатному, граничному (рис. 3.2).

Працездатний стан (працездатність) — стан об'єкту, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідає вимогам нормативно-технічної документації. Машина може

знаходиться в працездатному, але несправному стані (наприклад, із-за вм'ятин і подряпин на корпусі).

Надійність — властивість об'єкту зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів в заданих режимах і умовах застосування, технічного

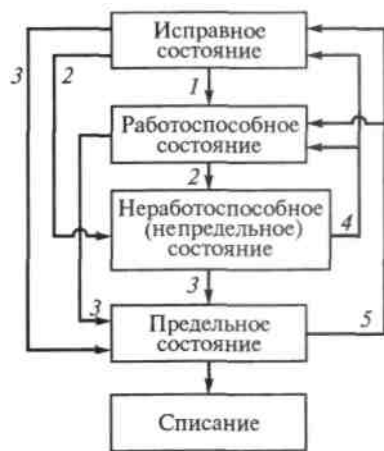


Рис. 3.2. Схема основних станів об'єкту:
1 — несправність; 2 — відказ; 3 — перехід об'єкта в крайнє становище (із - за зносу, стирання, втрати точності, зниження ефективності); 4 — відновлення;
5 — ремонт

обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування. Надійність є одним з основних показників якості виробів, що виявляється в часі і відбиває зміни, які відбуваються в машині протягом всього часу її експлуатації. У машинобудуванні розглядають надійність виробів: верстат, вузол, агрегат, комплекс і навіть окрема деталь або елемент. Надійність складається з поєднання декількох властивостей: безвідмовності, довговічності.

Безвідмовність — властивість об'єкту безперервно зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

Відмова — подія, що полягає в порушенні працездатності об'єкту. Розрізняють вісім видів відмов: раптова, поступова, залежна, незалежна, переміжна, конструкційна, виробнича, експлуатаційна. По фізичному сенсу і специфіці прояву особливий інтерес представляють раптова і поступова відмови.

Раптова відмова (РВ) — відмова, що характеризується стрибкоподібною зміною значень лімітуючого параметра; відмова функціонування, що приводить до раптового зупинення машини або порушення нормального режиму роботи (шум, удари, вібрації). Особливістю РВ є те, що їй не передують зміни параметрів, тому її не можна прогнозувати, наприклад згорів запобіжник, зламулося свердло, зламувся зуб шестерні (рис. 3.3. а).

Поступова (або знос) відмова — відмова, що характеризується поступовою зміною значень параметрів об'єкту, а також наявністю тенденції (або закономірності) їх зміни в часі, що дозволяє їх прогнозувати. Наприклад, із-за зносу тих, що направляють верстат не забезпечує параметри точності форми або прямолінійності. Знос верстатів можна розрахувати, наприклад, за період T_1, \dots, T_3 (рис. 3.3, б).

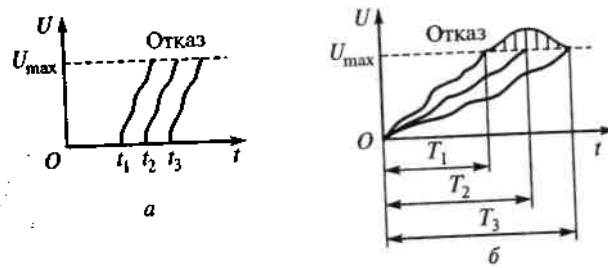


Рис. 3.3. Схеми виникнення відмов:

a — раптова; *б* — поступова (знос)

Для працюючої технологічної системи найбільш небезпечні раптові відмови, тобто відмови функціонування. Вони непередбачувані і можуть привести до важких наслідків:

- відмова по точності обробки (коли $\Delta_{\phi} \geq \Delta_{\text{доп}}$) приводить до браку;
- відмова функціонування, тобто раптова відмова верстата, окремого вузла або деталі. При цьому можуть виникати небезпечні ситуації: поломка ріжучого інструменту (аварія і брак);

поломка елементів механічної частини (вузла, механізму, окремої деталі), що вимагає пошуку і усунення несправностей, а іноді і ремонту;

несправності в системі управління, які важко виявити відразу (згоріла плата, елемент, немає контакту і ін.). Економічний збиток із-за відмов виявляється в наступному: робота з погіршеними параметрами; підвищені простой і трудовитрати на відновлення працездатності; зниження продуктивності і ефективності. Для підвищення надійності автоматизованих систем застосовують спеціальні методи, хоча це вимагає додаткових витрат.

3.2. Методи підвищення надійності автоматизованих систем

Особливість проблеми надійності полягає в тому, що вона комплексна і пов'язана зі всіма етапами життєвого циклу виробу. Надійність є одним з основних показників якості виробів. Рівень надійності формується і забезпечується на всіх стадіях проектування, виготовлення і експлуатації.

Стадія проектування. На цій стадії застосовують ряд способів створення надійних конструкцій:

1. Вибір раціональних і ефективних принципів дії і схем побудови машин.

2. Створення надмірності і резервування.

3. Науково-технічне і економічне обґрунтування вибраних матеріалів, параметрів, величин допусків.

4. Моделювання і прогнозування роботи технологічних систем або окремих елементів (розрахунок погрешностей, втрати точності, зусиль затиску заготовок в пристосуваннях і схватах).

5. Оснащення спеціальними системами (контролю і діагностики за станом ріжучого інструменту і елементами ТС; адаптивними).

6. Використання статистичних даних і досвіду створення аналогічних конструкцій.

При проектуванні ТП важливе заздалегідь зробити прогноз про втрату точності по всьому ланцюгу «креслення — заготовка—деталь». Визначити частку і ступінь впливу кожного елемента ТС на втрату точності (виявити домінуючі елементи).

Стадія виготовлення. На даній стадії необхідно враховувати чинники, що забезпечують надійність.

1. Вибір раціональних способів отримання заготовок і методів обробки (наближення форми заготовки до форми деталі, мінімальні припуски).

2. Строгу технологічну дисципліну при виготовленні деталі (виключення спадковості, концентраторів напруги, внутрішньої потенційної енергії).

3. Вибір ефективних методів термообробки. Застосування ефективних підсилюючих технологій для підвищення міцності і зносостійкості (іонне азотування, цементація, плазмове запилення і ін.).

4. Висока якість збірки і наладки.

Стадія експлуатації. При експлуатації на надійність і стабільність функціонування впливає ряд наступних чинників:

1. Вживані мастила.

2. Вживані ЗОР при обробці.

3. Вживані режими різання.

4. Умови експлуатації обладнання (віброзахист, термодетальні приміщення).

Ухвалення рішень на початкових стадіях проектування

На етапі проектування роблять вибір структури і розрахунок схемної надійності системи. Автоматизовані виробничі системи (АВС) відносять до складних систем, на велике число вихідних параметрів яких встановлюють нормативи, що обумовлюють надійність. Структура АВС відноситься до зв'язаної, якщо відмова її елементів є залежною подією і впливає на функціонування всієї системи (рис. 3.12). При послідовному з'єднанні елементів відмова одного елемента приводить до відмови всієї системи. Вірогідність безвідмовної роботи АВС рівна витвору вірогідності безвідмовної роботи всіх її елементів:

$$P(t) = P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 = \prod P_i. \quad (3.6)$$

При однаковій надійності елементів $P(t) = P_i^n$. Недоліком послідовного з'єднання є низька надійність всієї системи (при достатньо високій надійності окремих елементів). Наприклад

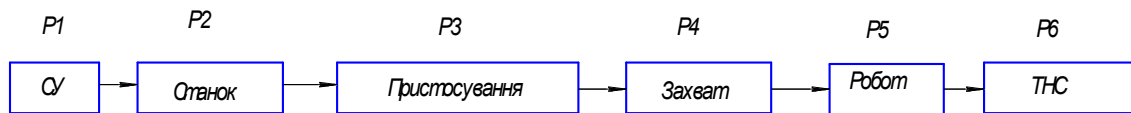


Рис. 3.12. Структурна схема АВС і її основні елементи

при значенні вірогідності безвідмовної роботи кожного елемента $P = 0,9$ надійність всієї системи рівна (див. рис. 3.12):

$$P(t) = P_i^n = 0,9^6 = 0,53$$

Надмірність і резервування

Надмірність — основний метод підвищення надійності складних систем. На стадії проектування систем передбачається створення запасу по основних параметрах, що обумовлюють надійність: міцності, жорсткості, зносостійкості, вібростійкості, теплостійкості і ін. В результаті надмірності досягнення граничних значень домінуючих параметрів при роботі виробу віддаляється. Настання відмови як би штучно «зрушується» в часі, тобто в конструкції на стадії проектування заздалегідь закладається завищене напруження на відмову. При створенні надійних систем принцип надмірності виявляється в тому, що ресурс виробу встановлюють набагато нижче середнього терміну служби повністю. Те, що не використало потенційної довговічності виробу дає гарантію його безвідмовної роботи.

Окремим випадком надмірності є резервування, тобто створення і включення в схему АС дублюючих елементів. При виході з ладу (або відмові) одного з елементів дублер виконує його функції і вузол продовжує нормально функціонувати. Резервування значно підвищує надійність систем.

Є два види резервування — з навантаженими і не навантаженими резервними елементами (рис. 3.13). При навантаженому резервуванні резервні елементи постійно приєднані до основних і знаходяться в однаковому з ними режимі роботи (рис.3.13, а).

В цьому випадку відмова системи — складна подія, яка матиме місце за умови відмови всіх елементів. Вірогідність появи одночасно всіх відмов $F(t)$ по теоремі множення рівна твору:

$$F(t) = F_1 F_2 \dots F_n = \prod_{i=1}^n F_i. \quad (3.9)$$

Вірогідність безвідмовної роботи

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i). \quad (3.10)$$

Якщо вірогідність безвідмовної роботи кожного елемента $P_i = 0,9$ і $n = 3$, то отримаємо:

$$P(t) = \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \right] = \left[1 - \prod_{i=1}^3 (1 - 0,9) \right] = \left[1 - (0,1)^3 \right] = 0,999.$$

Таким чином, вірогідність безвідмовної роботи різко (на три порядки) підвищилася. Використовуючи принцип резервування, можливо створювати надійні системи з ненадійних елементів.

При не навантаженому резервуванні резервні ланцюги (елементи) знаходяться у відключеному стані і включаються лише у разі відмови основному ланцюгу (рис. 3.13, б). В цьому випадку треба спочатку виявити відмову, а потім — включити резерв.

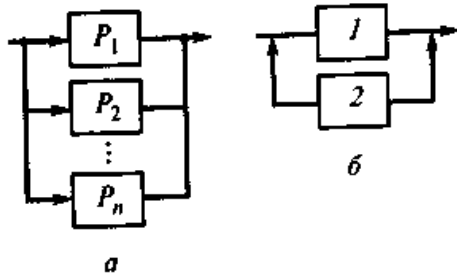


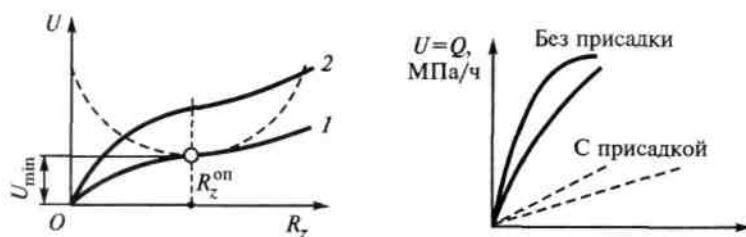
Рис. 3.13. Схема резервування з навантаженим (а) і не навантаженим елементом

Вибір оптимальних параметрів шорсткості і підвищення зносостійкості

Надійність виробу залежить від експлуатаційних властивостей оброблених поверхонь деталей. Зносостійкість поверхонь залежить від багатьох чинників, зокрема від величини R_z (рис. 3.26). При дуже гладкій поверхні мастило не утримується на поверхні і знос протікає інтенсивніше. При оптимальному значенні R_z^{opt} знос U поверхні мінімальний (крива 1). При значеннях шорсткості, відмінних від оптимального (тобто лівіше або правіше за точку R_z^{opt}), знос збільшується (крива 2).

Застосування мастила може понизити знос в 1000 разів. Проте з часом мастило втрачає свої властивості із-за поглинання кисню Q (тобто старіє). Поглинання кисню Q (і знос U) протікає менш інтенсивно за наявності в маслі спеціальних присадок проти зносу (рис. 3.27).

Зносостійкість залежить не тільки від властивостей зв'язаних матеріалів, але і від умов роботи сполучення. Вибрані матеріали повинні гарантувати, що на поверхні тертя не виникнуть неприпустимі види зношування, наприклад молекулярне схоплювання, яке приводить до задирок. Так, при терті однорідних матеріалів в умовах недосконалого мастила для запобігання молекулярному схоплюванню необхідно, щоб їх твердість відрізнялася не менше ніж на 10 одиниць по Брінеллю.



3.26. Залежність зносу U від величини параметра шорсткості R_z^{opt}

Рис. 3.27. Вплив присадок на старіння змазки Q і зносу U

Вибір методів зміцнення

В умовах ГАП роль і вимоги до інструментального оснащення значно зростають. Ріжучий інструмент повинен задовольняти наступним вимогам: забезпечення високої стійкості, задовільне формування і відведення стружки; висока жорсткість і вібростійкість; швидкозмінність при наладці або заміні; точність обробки при заданій продуктивності.

Матеріал ріжучого інструменту повинен забезпечувати: стабільність ріжучих властивостей; підвищену загальну і особливо розмірну стійкість; міцність і надійність інструменту. Існує ряд шляхів реалізації вказаних вимог: застосування тих, що володіють високими ріжучими властивостями матеріалів; забезпечення дрібнозернистої структури сталей; забезпечення балу неоднорідності (менше двох одиниць) карбіду за рахунок багатократного проковування і інших способів; застосування матеріалів, що володіють підвищеною зносостійкістю (сплави з високим вмістом титана T_i і низьким вмістом кобальту C_o); застосування зносостійких покриттів (азотування, карбонітрація, лазерне легування і ін.). Для підвищення зносостійкості і міцності поверхонь деталей, штампів, ріжучих інструментів застосовують спеціальні методи зміцнення: азотування (іонне і пічне); карбонітрація; цементация; покриття нітридом титану; лазерне легування; плазмове запилення.

Широко вживаний метод зміцнення деталей — цементация — має ряд істотних недоліків: нагрівачи до високої температури (950°C) і різке охолодження при гарті; великі деформації і припуски; обов'язкове шліфування (з попередньою правкою валів); видалення найбільш якісного зміцненого шару; нерівномірне знімання металу і зміцнений шар, що залишився (одна з причин поломок і аварій); збільшення тривалості і трудомісткості ТП; громіздка установка для цементации.

Найбільш прогресивним і ефективним є метод іонного азотування, який має ряд переваг: низька температура (до 525°C); відсутність деформацій; короткий цикл іонізації (2...24 ч); не вимагається подальшої обробки поверхонь; збереження верхнього зміцненого шару; рівномірність зміцненого шару; компактність установки; простота експлуатації; екологічно чистий процес. При зміцненні ріжучого інструменту методом іонного азотування їх стійкість значно вища, ніж при зміцненні іншими методами (рис. 3.28.).

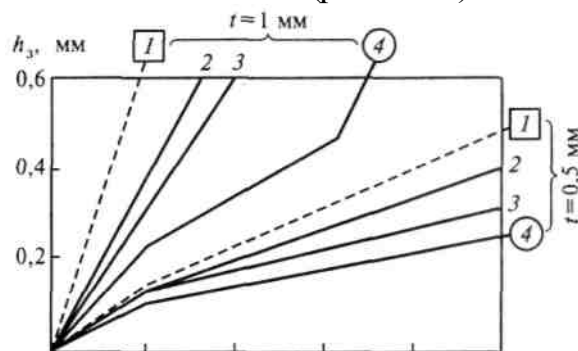


Рис. 3.28. Залежність зносу задньої грані різця h_3 при різних методах щільності

Нові концепції створення і підвищення рівня надійності ріжучого інструменту АВ

Для підвищення надійності і ефективності АВ потрібний новий тип ріжучого інструменту, що дозволяє вести високошвидкісну обробку (ВШО), у тому числі і високоміцних, жароміцних, нержавіючих, важкооброблюваних сталей (рис. 3.29). В області ВШО сили різання зменшуються на 30 % і стружка із зливної переходить в елементну, що важливе для умов АВ.

Таблиця 3.1

Перспективний ріжучий інструмент для автоматизованого виробництва

Технологічні вимоги	Матеріал ріжучої частини			
	Полікристали кубічного нітриду бора (КНБ)			Ріжуча кераміка
Марка матеріалу інструменту	Композити: 01; 10; 10Д	Кіборит Композит 02	Ніборит	ВОК60;ВНК10 ОНТ-20
Оброблюваний матеріал	Закал. сталі HRC з 60...70	Жаростійкі сталі	Корозійністі сталі	Вуглеводні високолеговані HRC60
Швидкість різання V, м/хв	80...150	200...450	120...300	140...400
Ефективність	Зниження трудомісткості в 3 рази	Підвищення швидкості		
		в 40 раз	в 2,5 рази	в 3 рази

Таблиця 3.2

Підвищення стійкості і надійності інструмента за рахунок вибору оптимального вмісту порошків

Марка сталі з оптимальним вмістом порошків	Підвищення стійкості у порівнянні з швидко ріжучими сталями		Тип інструмента
P6M5K5-МП	P6M5K5 — в 2 рази	P18 — в 4 рази	Різці Сверла Фрези Зенкери Мічки Довбачі
P9M4K8-МП	P9M4K8 — в 2 рази	P18 — в 4 рази	
P12M3K5Ф2-МП	P12M3K5Ф2 — в 2 рази	P18 — в 5 раз	

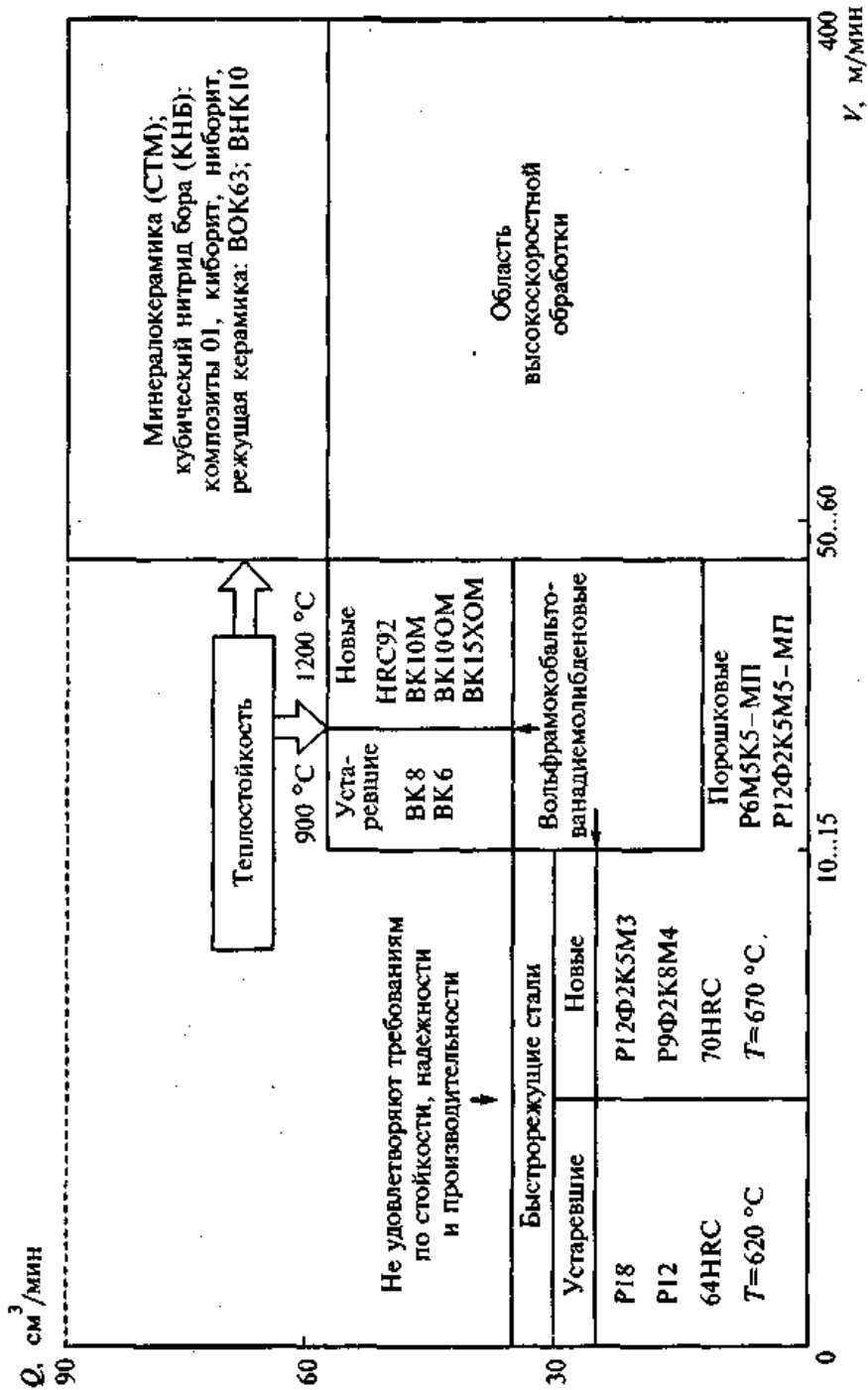


Рис. 3.29. Зависимость производительности Q от материала и режущих свойств инструмента (труднообрабатываемые стали)

Застосування нових надміцних матеріалів дозволяє значно поліпшити показники ефективності процесу обробки на верстатах з ЧПУ: зниження трудомісткості в 3 рази; підвищення швидкості різання до 40 разів (табл. 3.1). Нові типи ріжучих інструментів володіють високим рівнем теплостійкості—до

1200°C. Інструмент, оснащений новими надміцними матеріалами, в десятки раз перевершує існуючі вітчизняні (і зарубіжні) зразки по основних параметрах— швидкості різання, подачі, трудомісткості, продуктивності (рис. 3.30).

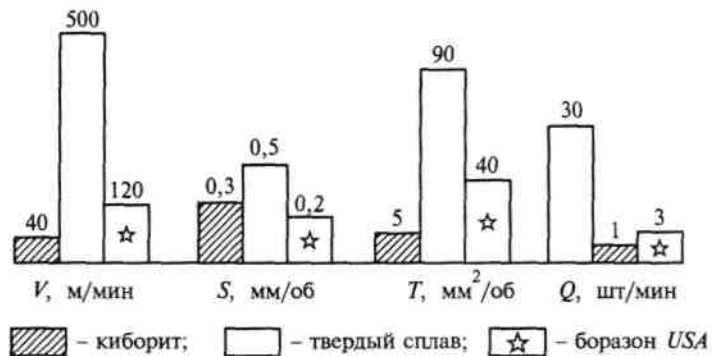


Рис. 3.30. Залежність показників V, S, Q, T від типу ріжучих інструментів при обробці жаростійких сталей

Стійкість і ріжучі властивості інструменту залежать від вибору складу порошків (табл. 3.2). У оптимальних складах зміст ванадію Φ не повинен перевищувати 3 %. Наприклад, інструмент із сталі P12Ф5М не знайшов практичного застосування, оскільки при зміні Φ більше 3 % шліфуватість погіршується в 2 рази.

Високі ріжучі властивості, міцність, стійкість і надійність ріжучого інструменту з порошкових матеріалів досягається за рахунок комплексу чинників: самий високий бал карбідної неоднорідності (БКН = 0); легкошліфуватість; відсутність деформацій при термообробці; зменшення зерен карбиду (менше 1 мкм); стабільність властивостей.

Надійність і стабільність процесу обробки залежить від вживаних ЗОР (рис. 3.31). При обробці жароміцних сталей різцями з твердосплавними пластинами ВК-8 їх стійкість підвищується в 1,6 разу (в порівнянні із стандартною ЗОР ЕТ-2). Застосування нового вигляду ЗОР (В29б, В31, В32к, В35) дозволяє значно збільшувати стійкість (до 8 разів).

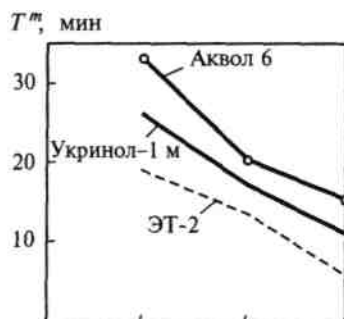


Рис. 3.31. Вплив типу ЗОР на стійкість ріжучого інструменту при обробці сталей

3.4. Контроль і діагностика якості продукції

Основою надійної роботи автоматизованих технологічних систем є безперервний або періодичний контроль за ходом ТП, що реалізуються в цих системах. При цьому вирішуються завдання по контролю точності деталей, точності роботи обладнання, виявленню причин відхилення від заданої точності деталей і обладнання, до визначення методів і засобів контролю, а також питання захисту від аварійних ситуацій. Для реалізації цих функцій в сучасному виробництві активно використовують мікропроцесори, лазерні системи і іншу техніку.

Контроль — перевірка відповідності об'єкту встановленим технічним вимогам. Під об'єктом технічного контролю розуміють ту, що піддається контролю продукцію, процеси її створення, застосування, транспортування, зберігання, технічного обслуговування і ремонту, а також відповідну технічну документацію.

Отже, об'єктом, дані про стан і властивостях якого підлягають при контролі зіставленню зі встановленими вимогами, може бути продукція або процес. Контроль в АВ буває міжопераційний (проміжний), операційний (безпосередньо на верстаті), післяопераційний, остаточний. Автоматизованому контролю повинні піддаватися всі елементи технологічної системи: деталь, ріжучий інструмент, пристосування, само обладнання. Переважними є методи прямого контролю, хоча методи непрямого контролю ширше використовують при контролі інструментів, діагностиці стану обладнання. Контроль в процесі обробки є одним з найбільш ефективних методів технічного контролю, оскільки дозволяє підвищити якість продукції, що випускається, при одночасному збільшенні продуктивності праці. Проте на точність обробки із застосуванням активного контролю роблять вплив різного роду зміни, що відбуваються в системі активного контролю і технологічній системі. Ізоляція верстата і контрольного пристрою, що управляє, від температурних впливів, вібрацій і інших зовнішніх дій і стабілізація параметрів технологічної системи дають позитивний ефект, але обмежені технічними можливостями. Тому розробляються самоналагоджувальні системи контролю, що управляє. Контроль самоналагоджувальний керівник — контроль, що управляє, при якому автоматично змінюються параметри настройки засобу контролю на основі інформації, що отримують за змінними умовами роботи, забезпечуючи задану точність при довільно змінних зовнішніх і внутрішніх обуреннях. Необхідно відзначити, що ступінь впливу окремих обурень (обурюючих чинників) в різній мірі позначається не тільки на стабільності отримання заданого рівня якості оброблюваного виробу, але і на зміні контрольованого параметра в процесі обробки кожної деталі. Тому основна трудність створення подібних систем полягає у виявленні домінуючих обурюючих чинників, дія на яких для управління точністю обробки найефективніше. При цьому головне завдання — це знаходження алгоритма формування сигналу, що коректує, по вимірюваному обуренню, що змінюється.

Найчастіше в промисловості, особливо в серійному виробництві, застосовують самоналагоджувальні системи контролю, що управляють, з

корекцією по відхиленню вимірюваного (контрольованого) параметра якості від заданого значення.

Для реалізації функцій контролю необхідні різні вимірювальні пристрої з датчиками, пристрої збору і обробки інформації, що поступає від вимірювальних пристроїв, а також пристрою реалізації вироблених рішень. Як останній використовують або саму систему ЧПУ обладнання, або програмований контролер, що входить в систему управління автоматизованого комплексу. Робота контрольних пристроїв в РТК є головним джерелом інформації для програмного управління, зокрема як сигнали зворотного зв'язку.

При виборі методів і засобів контролю для конкретних автоматизованих систем необхідно заздалегідь визначати економічний ефект від їх застосування з урахуванням функцій, що реалізуються в системах, а також умов експлуатації цих систем.

Для всіх видів контролю у кожному окремому випадку повинні бути вибрані найбільш надійні і допустимі по точності прилади і пристрої. Через цю вимогу контрольні пристрої повинні бути прості і мати необхідну точність вимірювання.

Вельми важливо пов'язати систему автоматизованого контролю (САК) з основними елементами технологічної системи, що дозволяє ставити питання про розробку *технологічного процесу вимірювань*, супроводжуючого процес виготовлення деталей (рис. 3.35).

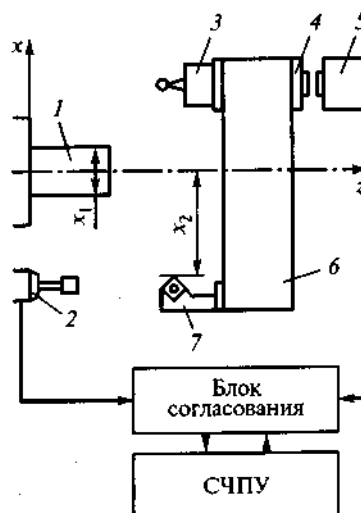


Рис. 3.35. Схема активного контролю

Безпосередньо на ділянці механічної обробки здійснюють контроль трьох видів: установки заготовки в пристосування; виробу безпосередньо на верстаті; вихідний контроль.

Контроль установки деталі в пристосування можна здійснювати на конвеєрі перед верстатом або на верстаті безпосередньо перед обробкою. У першому випадку можна використовувати датчики положення, розташовані на конвеєрі, або спеціальні вимірювальні установки з роботами. Безконтактні датчики

положення реєструють відхилення дійсного положення вимірюваної поверхні від запрограмованого або різниця умовної бази і вимірюваної поверхні (датчики торкання).

До безконтактних датчиків відносять оптичних вимірників з погрішністю вимірювань $\pm 0,005$ мм; лазерні датчики з погрішністю вимірювань $\pm 0,001$ мм; датчики зображення (технічного зору) з погрішністю вимірювань $\pm 0,003$ мм. Датчики і приймаючі камери розташовують на стійках у конвеєрів або над конвеєрами. Сигнали датчиків поступають в пристрій порівняння, потім в АСОВІ, після чого проводиться коректування положення заготовки в пристосуванні перед установкою його на стіл верстата. Датчики того, що стосується моделей 19000-19002, ЛПО, що випускаються, з погрішністю вимірювань $\pm 0,002 \dots \pm 0,005$ мм також можна встановлювати на конвеєрі, проте в основному їх застосовують для контролю положення і стани заготовки безпосередньо перед обробкою на верстаті, тобто в зоні обробки.

Вимірювальні пристрої, що встановлюються на стійках у конвеєрів, дозволяють контролювати не тільки положення заготовки в пристосуванні до обробки на верстаті, але і параметри деталі після обробки при переміщенні її в пристосуванні на іншу позицію. Такі установки розроблені і виготовляються фірмою «ДЕА» (Італія). Точність їх вимірювання складає $\pm 0,005$ мм при швидкості переміщення заготовки на конвеєрі до 33 м/хв.

Вихідний контроль заготовок деталей в процесі їх транспортування не подовжує виробничого циклу, проте найбільш оперативним є контроль заготовок і деталей безпосередньо на верстаті. При невеликому збільшенні тривалості обробки вихідний контроль істотно підвищує її якість.

Для контролю в зоні обробки застосовують датчики торкання (вимірювальні головки), що закріплюються в шпинделі, супорті, револьверній головці, як і ріжучий інструмент. До таких датчиків відносять вітчизняні БВ-4281 з погрішністю вимірювань $\pm 0,002$ мм; МВ-1 фірми «Ренішоу електрикал» з роздільною здатністю 1 мкм; електронні щупи TF-6, TF-30, TF-56 фірми «ДЕА», прилади для активного контролю розмірів при шліфуванні фірми «Марпос» з погрішністю вимірювання $\pm 0,0005$ мм.

На токарних і круглошліфувальних верстатах з ЧПУ застосовують індикатор контакту БВ-4271. Індикатор призначений для видачі інформації про контакт наконечника і його щупової головки з поверхнею деталі і інструменту, використовуваного для визначення розмірів деталей, положення або стану інструменту. Індикатор складається з щупової головки для деталі, щупової головки для інструменту, передавача, приймального пристрою і електронного блоку. Щупова головка працює за принципом датчика електроконтакта, що забезпечує вихід двох сигналів «так і ні».

Щупову головку для контролю положення і стану інструменту встановлюють на нерухомій частині верстата і стикують з електронним блоком узгодження. Від системи ЧПУ в електронний блок узгодження поступає сигнал, що визначає вибір однієї з двох головок. Щупову головку для контролю розмірів деталей, що передає пристрій, зв'язаний кабелем з

датчиком, і приймальний пристрій встановлюють на револьверній головці верстата. У відповідному положенні револьверної головки виконується обмацування вимірюваної деталі. Прийом інформації від вибраної головки здійснюється з приходом сигналу «розміщення» від СЧПУ. Далі виконується формування вихідних сигналів і передача їх в СЧПУ.

Контроль за допомогою вимірювальних головок на верстаті можна розглядати і як вихідний контроль деталі після конкретної (у тому числі і після фінішної) операції. Проте у ряді випадків доцільніше і легко організувати спеціалізований контрольно-вимірювальний осередок (КИЯ), що забезпечує виносний контроль деталі, чим контроль в зоні обробки. До таких випадків можна віднести контроль складних корпусних деталей, наприклад картера двигуна внутрішнього згорання.

Склад КИЯ визначається видом контрольованих виробів і може формуватися як на основі уніфікованих вимірювальних систем окремих параметрів, так і на базі універсальних контрольно-вимірювальних машин (КИМ). Для механічної обробки характерний другий підхід.

Найбільшу популярність здобули КИМ фірм «Маузерверке» (Німеччина), «Оптон» (Німеччина), «ДЕА» (Італія). На КИМ проводять вихідний контроль корпусних деталей, складних штампів, зубчатих коліс, черв'яків, кулачкових валів; управління процесом вимірювання здійснюють за допомогою обчислювального пристрою, пов'язаного з АСОВІ автоматизованої ділянки. Контроль деталі полягає в активному обмацуванні її по записаній в пам'яті обчислювального пристрою програмі, що управляє. Записану програму можна коректувати. При вимірюванні в автоматичному режимі відсутня необхідність у вирівнюванні або перезакріпленні деталі, оскільки її положення розпізнається обчислювальним пристроєм.

КИМ встановлюють за оброблювальними центрами в кінці ділянки або лінії для здійснення вихідного контролю деталей і виробів. Але КИМ можна встановлювати також безпосередньо за ділянкою виставки і закріплення деталі на супутнику, що дозволяє оцінити фактичні розміри і положення заготовки, що поступає на обробку. Обробка інформації, що поступає з КИМ на ЕОМ, дає можливість визначити оптимальне число робочих ходів і внести можливі корекції до режимів різання.

Мета і задачі технічної діагностики

Слово «діагностика» походить від грецького «диагносис» і означає розпізнавання, визначення. У медицині — це визначення стану людини і виявлення причин його нездоров'я, а в техніці — стани об'єкту, виявлення його несправностей і причин. Технічний об'єкт, стан якого досліджується, називається *об'єктом діагностики*. Завершенням дослідження є отримання *діагнозу*, тобто висновку про стан об'єкту: справний, несправний, в об'єкті є якась несправність. Несправність в роботі агрегату, вузла або системи в цілому є наслідком виникнення дефектів в його елементах. Дефектами *деталей* і

інших елементів машин називають відхилення їх від спочатку встановленої якості, заданої технологічними умовами, тобто від заданих розмірів, форми, показників фізикомеханічних властивостей, чистоти поверхні, якості мастила, забарвлення і тому подібне. Виникнення і розвиток дефектів залежить від ряду чинників: недосконалість конструкції, технології виготовлення, умов експлуатації технічного об'єкту і так далі. Звичайний розвиток дефектів і поява внаслідок цього несправностей відбувається поволі і довгий час майже не відбивається на його роботі. Процес повільного погіршення показників вважається нормальним і природним. Але за деяких умов дефекти виникають і розвиваються дуже швидко. Їх кількісні показники за короткий час досягають граничних значень, і об'єкт різко погіршує свої параметри, а іноді стає непридатним до використання.

Основою технічної діагностики є аналіз різних фізичних процесів, що відбуваються в працюючій машині, і їх впливу на її експлуатаційні показники. Останні у момент часу t визначаються рівнем і стабільністю характеристик робочого процесу і якістю деталей і сполучень, що володіють певними фізичними властивостями (лінійними розмірами, точністю, взаємним розташуванням, формою, шорсткістю, хвилястістю поверхні і іншими геометричними параметрами, структурою і твердістю матеріалу і т. д.).

У історії будь-якого технічного об'єкту можна виділити етапи виробництва і експлуатації, коли об'єкт застосовують за призначенням, піддають профілактичним перевіркам, ремонту, перевіркам після ремонту і так далі. На кожному етапі існування об'єкту для нього відповідно до службового значення задають певні експлуатаційні показники, яким він повинен відповідати. Проте унаслідок несправностей ця відповідність може порушуватися. Експлуатаційні показники охоплюють основні *параметри об'єкту*, що характеризують виконання заданих функцій, і другорядні, *такі*, як зручність експлуатації, зовнішній вигляд і тому подібне.

Об'єкт справний, якщо він повністю відповідає всім експлуатаційним показникам, тобто всі його параметри, як основні, так і другорядні, знаходяться в заданих межах.

Об'єкт працездатний, якщо всі його основні параметри знаходяться в межах заданої норми. Вихід будь-якого параметра з меж норми означає несправність.

Об'єкт функціонує, якщо його основні параметри, що характеризують роботу в даному режимі і зараз, не виходять за допустимі межі.

Залежно від повноти визначення відповідності параметрів об'єкту заданим експлуатаційним показникам розрізняють декілька завдань діагностики: перевірка справності стану; перевірка працездатності, перевірка функціонування.

Перевірка справності. Ціль - упевнитися, що в об'єкті немає жодної несправності і жоден з параметрів не виходить за задані межі. Це якнайповніший вид контролю. На етапі виробництва він дозволяє дізнатися, чи містить об'єкт дефектні компоненти, а їх монтаж (збірка) — помилки. На виробництві

завдання перевірки справності покладаються на відділ технічного контролю. При ремонті перевірка справності дозволяє переконатися, чи всі дефекти усунені.

Перевірка працездатності. Мета — оцінка здатності об'єкту виконувати всі функції, передбачені його алгоритмом роботи. Це менш повний контроль, який може не виявити несправності, що не перешкоджають застосуванню об'єкту за призначенням. Наприклад, резервований об'єкт може мати несправності в резервних компонентах. Перевірка працездатності здійснюється на етапі експлуатації об'єкту при профілактиці перед застосуванням об'єкту за призначенням.

Перевірка функціонування. Мета — стежити за тим, чи не з'явилися несправності, що порушують роботу зараз. Це ще спрощений контроль роботи об'єкту тільки в одному режимі, який проводиться на етапі експлуатації.

Таким чином, справний об'єкт завжди працездатний і правильно функціонує. Неправильно функціонуючий об'єкт завжди непрацездатний і несправний. Правильно функціонуючий об'єкт може бути непрацездатний і, отже, несправний. Працездатний об'єкт правильно функціонує, але може бути несправний. Наприклад, електроплита, що здійснює нагрівання, правильно функціонує, але може не забезпечувати регулювання температури, тобто бути непрацездатною. Електроплита, в якій блок регулювання температури працює, може не забезпечувати точність підтримки температури або опору ізоляції електричних ланцюгів щодо корпусу, тобто мати несправності. Теорія технічної діагностики базується на поняттях «система» і «елемент».

Система — сукупність елементів, взаємозв'язані функції яких координуються для виконання загального завдання. Поняття системи охоплює об'єкт в цілому.

Елемент (блок, вузол) — частина системи, яка виконує задані функції. Розділення системи на довільне число частин, кожна з яких виконує певну функцію, неоднозначно. Поняття «елемент» не можна жорстко прив'язувати до певної деталі або вузла. Об'єкт може виступати як один елемент при перевірці функціонування або працездатності або роздільний на складові частини при пошуку несправностей.

В процесі експлуатації і ремонту деякі властивості об'єкту можуть змінюватися, що приводить до зміни його стану. *Стан* — точно певна поведінка, що характеризується сукупністю деяких властивостей машини або її механізму, яке може бути пізнане, якщо повториться знову. Це поняття в рівній мірі відноситься до деталей, вузлів, іншим елементам машини і до системи в цілому. Можна виділити три типи завдань за визначенням технічного стану об'єкту:

- визначення стану, в якому об'єкт знаходиться зараз часу, — завдання діагностики;
- прогноз стану, в якому об'єкт опиниться в деякий майбутній момент часу, — завдання *прогностики* (від греч. прогностис — прогноз, передбачення);

- визначення стану, в якому об'єкт знаходився в деякий момент часу у минулому, — задача генетики, або *генезису* (від греч. генезис — походження, виникнення).

Завдання генезису виникають при розслідуванні аварій, відмов і їх причин, коли справжній стан об'єкту відрізняється від стану, в якому він опинився у минулому, в результаті появи першопричин, що викликали відмову. Цю задачу вирішують шляхом визначення можливих або вірогідних передісторії, таких, що привели об'єкт в справжній стан. До завдань технічної прогностики відносять завдання, пов'язані з визначенням терміну служби об'єкту, необхідній періодичності перевірок і ремонтів. Їх вирішують шляхом визначення можливих або вірогідних еволюції станів об'єкту, що починаються зараз часу.

Таким чином, знання стану об'єкту зараз часу є обов'язковим як для генезису, так і для прогностики, тобто в їх основі лежить технічна діагностика. Знання методів і принципів останньою дає можливість замінити інтуїтивні методи, оцінки стани об'єкту, які вимагають високої кваліфікації і досвіду, а також вирішити проблеми аналізу стани нових об'єктів постійно зростаючої складності, не доступні інтуїтивним методам.

При технічній діагностиці прийнято, що елемент може знаходитися тільки в одному з двох станів: справному або несправному. Стан об'єкту і експлуатаційні показники можна визначити, якщо відоме значення кожного діагностичного параметра x_1, x_2, \dots, x_n . В цьому випадку необхідно оцінити, перш за все, значення функціональних параметрів. *Функціональними* є геометричні, електричні, механічні і інші параметри, що впливають на експлуатаційні показники машин або службові функції їх деталей і вузлів. Наприклад, від величини зазору між парою поршень і циліндр компресора (функціонального параметра) залежить споживана потужність електродвигуна і масова і об'ємна продуктивність (експлуатаційні показники). В принципі рівень діагностичних параметрів x , можна було б точно визначити по величинах функціональних параметрів елементів розібраного технічного об'єкту.

Проте будь-яке розбирання і збірка об'єкту пов'язане з порушенням взаємної переробки елементів, що сполучаються, що веде до скорочення їх терміну служби. Необхідно також враховувати трудомісткість збірки машин. Тому в технічній діагностиці діагноз об'єкту розглядають як загальний метод пізнання стану механізму без його розбирання в умовах експлуатації і ремонту. Результати діагнозу є підставою для ухвалення рішення про подальше використання техніки або про характер майбутнього ремонту. Стан технічного об'єкту, що характеризується рівнем діагностичних параметрів x , оцінюють по значеннях діагностичних сигналів. *Діагностичними сигналами* називають процеси, службовці переносниками інформації про те, що складається елементів і їх вичленовувань з об'єкту до оператора або діагностичного приладу. Аналіз сигналу полягає в тому, що з нескінченної сукупності його властивостей фіксуються і оцінюються тільки ті, які несуть найбільшу діагностичну інформацію. Результатом аналізу є опис сигналу через кількісні значення його параметрів, яке потім використовується для ухвалення

рішення про конкретний стан об'єкту. Процес діагнозу складається із сприйняття сигналу елементу об'єкту, виділення в сигналі характерних ознак і зіставлення цих ознак з ознаками сигналів, відповідних можливим станам елементу, які повинні розрізнятися при діагнозі.

Діагностика є непрямим методом вимірювання експлуатаційних параметрів техніки і, як будь-яке вимірювання, є порівняння вимірюваної величини з еталоном. В результаті діагнозу отримують зведення щодо внутрішніх властивостей обстежуваного технічного об'єкту. Але із-за неможливості безпосереднього вимірювання труднодоступних місць доводиться вимірювати не їх параметри, а параметри процесів, що породжуються працюючим технічним об'єктом і доступних для вимірювання. Щоб уникнути великої теоретичної і експериментальної роботи за визначенням строгої функціональної залежності кожного параметра сигналу від параметра стану використовують асоціативний метод діагностики. При цьому порівнюють не само стан об'єкту, а відповідні йому діагностичні сигнали. Ці типові сигнали запам'ятовують і з ними порівнюють сигнали досліджуваного об'єкту.

Як метод вимірювання діагноста повинна задовольняти двом вимогам — повторюваності і однозначності. Для цього процес діагностики повинен бути строго регламентований і складатися з послідовності точних і чітких розпоряджень, а діагностичний вивід повинен визначатися тільки станом об'єкту.

У технічній діагностиці розглядають: безліч можливих станів об'єкту; безліч сигналів; відображення безлічі станів на безліч сигналів і зворотне відображення; джерела перешкод; критерії ефективності діагнозу.

Види технічної діагностики

Діагностику технічного стану об'єкту виконують за допомогою спеціальних технічних засобів. Процес діагностики є багатократною подачею на об'єкт певних дій (вхідних сигналів) і багатократне вимірювання і аналіз відповідей об'єкту на ці дії (вихідних сигналів). Цей процес можна розбити на окремі частини, кожна з яких є фізичним експериментом над об'єктом. Дії на об'єкт діагностики і його реакції на ці дії і називають *елементарною перевіркою*. Відповіді можна знімати з основних виходів об'єкту і з додаткових виходів, організованих спеціально для діагностики. Ці виходи називають *контрольними крапками*.

Результат перевірки — набутих при її реалізації значень відповідей, тобто сигналів в контрольних крапках. Ці сигнали можуть мати різний фізичний характер: параметри електричних сигналів, тиск, швидкість, температура, потужність і ін.

Очевидно, що об'єкт, що знаходиться в різних технічних станах, може видавати різні результати однієї і тієї ж елементарної перевірки. При фіксованому складі виходів (контрольних крапок) об'єкту елементарні перевірки можуть розрізнятися між собою тільки дією. І навпаки, елементарні

перевірки розрізняються між собою тільки складом виходів, якщо зафіксована дія. Перевірки можуть охоплювати різне число елементів об'єкту. Розрізняють поелементні, групові і глобальні перевірки. *Поелементна перевірка* полягає в контролі кожного елемента системи окремо. *Глобальна перевірка* повинна охоплювати всі елементи.

Дії на об'єкт можуть подаватися від засобів діагностики або бути зовнішніми по відношенню до ним, тобто вироблятися в самому об'єкті в процесі його функціонування. Вимірювання і аналіз відповідей об'єкту завжди здійснюються засобами діагностики.

Діагностика, в процесі якої дії на об'єкт виробляються діагностичними засобами, називається *тестовою* (рис. 3.37). При тестовій діагностиці склад і послідовність подачі дій можна вибирати виходячи з умов ефективної організації діагностичного процесу. Можна здійснювати вибір чергової дії залежно від результатів аналізу відповідей на попередню дію. Системи тестової діагностики використовують для будь-яких видів контролю: справності, працездатності, функціонування, пошуку несправностей. Зазвичай тестову діагностику застосовують, коли об'єкт не використовується по своєму прямому призначенню. Проте можливе використання цього методу і при роботі об'єкту, якщо тестові дії не впливають на його нормальний режим функціонування. Наприклад, якщо виконавчий механізм інерційний, то можлива подача короткочасних тестових імпульсних дій на схему управління цим механізмом.

У разі, коли подачу дій на об'єкт від засобів діагностики не проводять, а використовують тільки робочі дії об'єкту, передбачені його алгоритмом функціонування (рис. 3.38), діагностику називають *функціональною*. Системи функціональної діагностики застосовують, як правило, для контролю функціонування і пошуку несправностей, що порушують нормальне функціонування (наприклад, діагностика холодильника по вібраціях корпусу і агрегату або по шумах). Системи функціональної діагностики часто використовують в режимах імітації функціонування об'єкту. При цьому, природно, імітують робочі дії. Це найбільш поширений випадок при наладці і ремонті. Наприклад, при настройці телевізорів використовують генератор телевізійного сигналу, імітуючий робочий сигнал. Обертанням регулятора температури нагрівального приладу можна імітувати теплову дію.

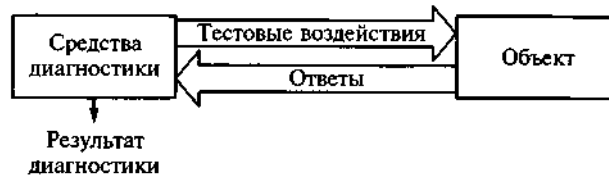


Рис. 3.37. Схема тестовой диагностики

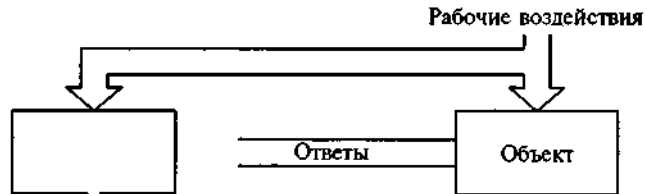


Рис. 3.38. Схема функциональной диагностики

Результатом технічної діагностики є думки. Для формування діагнозу типу «об'єкт справний», «об'єкт несправний», «в об'єкті несправний такий-то елемент» необхідна обробка відповідей об'єкту на дії, тобто сигналів в контрольних крапках. У простому випадку така обробка може полягати в порівнянні значень сигналів з допустимими, еталонними значеннями. Можлива і складніша обробка. У простих випадках діагностики функції обробки можуть бути покладені на оператора, в складніших випадках застосовують автоматизовані обчислювальні для вимірника засоби. Для визначення допустимих значень сигналів необхідно мати в своєму розпорядженні інформацію про поведінку справного (працездатного, такого, що правильно функціонує) об'єкту, а також про його поведінку в несправному стані. Об'єктами досліджень в технічній діагностиці є реальні технічні системи. Їх теоретичний аналіз припускає певну ідеалізацію об'єкту, при якій виділяють істотні властивості реальних систем і не враховують другорядні, тобто реальні системи замінюють моделями. Таким чином, завдання технічної діагностики полягають у вивченні об'єктів діагностики, побудові і аналізі їх моделей, зборі і обробці статичного матеріалу про поведінку об'єкту і його діагностику, розробку засобів і методик технічної діагностики.

Функціональні моделі об'єктів діагностики

Однією з найбільш широко поширених форм опису технічних об'єктів є функціональна схема. Функціональні схеми виконують виходячи із зручності опису і аналізу роботи об'єкту. На них показують істотні зв'язки між його елементами. Для цілей діагностики об'єкт представляють функціональною моделлю, яка відрізняється від звичайної функціональної схеми. Перш за все змінюють розділення об'єкту на функціональні елементи. При побудові такої моделі виходять з необхідної точності локалізації несправностей. Остання, у свою чергу, залежить від вибраного способу ремонту і визначається з урахуванням конструктивних і економічних міркувань. Вибраний таким

чином функціональний елемент можна безпосередньо використовувати як *первинний функціональний елемент* моделі, якщо він дозволяє скласти модель, що задовольняє наступним положенням:

1. Кожен функціональний елемент має один вихідний сигнал при довільному числі вхідних. Інакше елемент повинен бути роздільний на частини, кожна з яких визначає значення свого вихідного сигналу.
2. Зв'язки між функціональними елементами повинні відповідати зв'язкам функціональної схеми об'єкту.
3. Для кожного функціонального елемента відомі допустимі значення вхідних і вихідних сигналів, його функціональні зв'язки і методи контролю.
4. Несправний елемент при номінальних (допустимих) вхідних сигналах видає вихідний сигнал, що виходить за межі допустимого значення.
5. Вихід за межі допустимого значення хоч би одного з вхідних сигналів приводить до появи неприпустимого вихідного сигналу.
6. Зовнішні по відношенню до об'єкту діагностичні вхідні сигнали завжди приймають допустимі значення.
7. Якщо вихідний сигнал одного елемента служить вхідним сигналом другого, то діапазони їх допустимих значень співпадають.
8. Ланцюги зв'язку між функціональними елементами моделі абсолютно надійні. Якщо допускаються несправності фізичних зв'язків між елементами об'єкту, то такі зв'язки повинні бути враховані у вигляді елементів моделі.

При виконанні перерахованих умов функціональну модель можна використовувати для вироблення оптимальної процедури діагностики і пошуку несправностей. Для правильного складання функціональної моделі необхідно чітко уявляти собі функціонування об'єкту і взаємодію між собою його елементів. Аналіз функціональних і принципівих схем об'єкту полегшує цей процес.

Як приклад розглянемо складання моделі для компресійного побутового холодильника. У електросхему холодильника входять наступні елементи: шнур живлення; лампочка освітлення, що включається при відкритті дверець за допомогою вимикача; терморегулятор, відключаючий агрегат досягши необхідної температури в холодильній камері і що включає його через пускозахисне реле при підвищенні температури; електродвигун компресора (рис. 3.39).

Пускозахисне реле виконує відповідно до своєї службової назви дві функції. По-перше, у момент пуску агрегата через робочу обмотку 2-3 *двигуни* протікає великий струм, який викликає спрацьовування електромагнітного пускача (МП) і замикання його нормально розімкнених контактів (К). Через них короткочасно підключається до напруги живлення пускова обмотка 7-2 *двигуни*. Після пуску *двигуна* струм робочої обмотки зменшується і електромагнітний пускач розмикає свої контакти, відключаючи пускову обмотку.

По-друге, реле забезпечує захист електродвигуна. У випадку короткого замикання обмоток або заклинювання електродвигуна через теплове реле

ТР1 і ТР2 тече достатньо довго недопустимо великий струм. Під дією тепла розмикається біметалевий контакт КТ, який обезструмлює електродвигун.

Побудуємо функціональну модель, що дозволяє провести пошук несправностей по схемі, представленій на рис. 3.40. Елементи моделі позначимо буквами *X_c* порядковим номером, зовнішні дії — буквами *У*, а вихідні сигнали — буквами *Z*(рис. 3.40). У діагностичну функціональну модель включений агрегат, що містить мотор-компресор і випарник з трубопроводом. Врахований тепловий зв'язок між испарителем *XI* і терморегулятором *XI*. Вплив струму обмоток Л4 електродвигуна на роботу пускозахисного реле А3 врахований за рахунок зворотного зв'язку. При цьому, оскільки кожен елемент моделі може мати тільки один вихідний сигнал, електродвигун представлений таким, що складається з обмотки.4 з електричним струмом як вихідний сигнал *ТА* і ротора, механічно пов'язаного з компресором. Зовнішні вихідні сигнали: *У1* — напруга живлення 220 В; *У2* — положення ручки терморегулятора; *У3* — положення кнопки вимикача. Вихідними сигналами *Z1, Z2, Z3, Z8* є напруга 220 F, а сигналом *Z4*—ток обмоток двигуна. Оскільки зв'язок ротора *X5* і компресора *X6* недоступний для спостереження, то як *Z5* можна використовувати шум від роботи мотора-компресора; *Z6* — тиск хладагента на виході компресора; *Z7* — температура; *Z9* — свічення лампочки.

Склад і ступінь деталізації функціональної моделі можна змінювати залежно від конкретно вирішуваного діагностичного завдання. Наприклад, при перевірці функціонування холодильника можна перевірити роботу лампочки (вихідний сигнал *Z9*) при відкритті і закритті дверець (зовнішній сигнал *У3*) і включення-виключення агрегату (вихідний сигнал *Z5*) при обертанні ручки терморегулятора (зовнішній сигнал *У2*). При перевірці працездатності додатково повинна бути зміряна температура в холодильній камері (вихідний сигнал *Z7*). При пошуку несправностей в електричній схемі холодильника можна застосувати тестовий метод. Для цього як сигнал *У1* необхідно подати невелику напругу, наприклад від омметра, і перевірити сигнали *Z1, Z2, Z3, Z4, Z8*.

Функціональна модель, приведена на рис. 3.40, зручніша при виборі вихідних сигналів для вирішення різних завдань діагностики і розробці алгоритмів пошуку несправностей в порівнянні з схемою, приведеною на рис. 3.39.

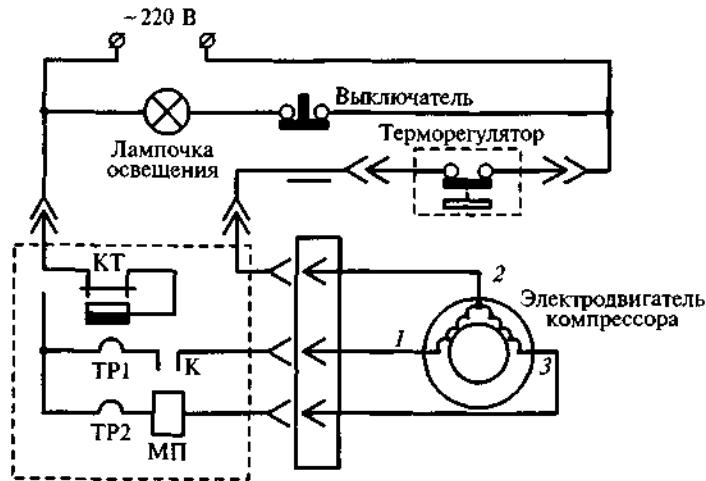


Рис. 3.39. Електросхема об'єкта діагностики

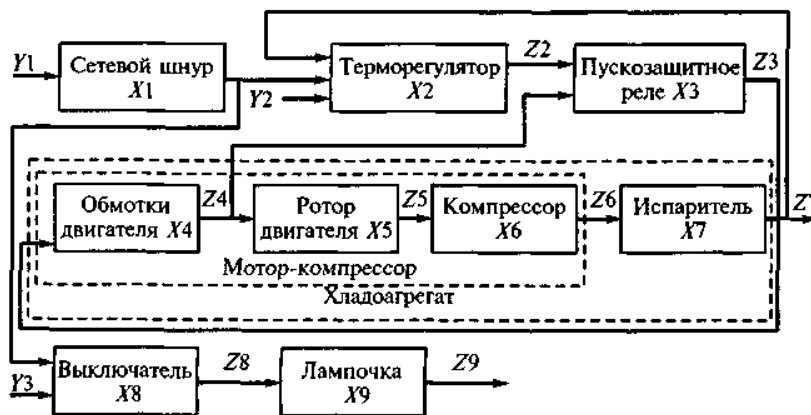


Рис. 3.40. Діагностична функціональна модель холодильника

Класифікація методів діагностування технологічного обладнання

Традиційний метод технічного обслуговування (ТОБ) і ремонту обладнання (у міру появи несправностей) не дає можливості підтримувати його працездатність на достатньо високому рівні в період експлуатації. Використання діагностичних методів контролю забезпечує повніша відповідність між станом об'єкту і об'ємом робіт, необхідних для його ТОБ і ремонту. Основним принципом ТОБ і ремонту, заснованим на діагностуванні, є попередження відмов в праці обладнання при забезпеченні максимально можливого часу праці до їх появи.

Методи технічної діагностики класифікують

по стадіях експлуатації: на етапах наладки, ТОБ, виконання планових ремонтів обладнання;

по ступеню використання технічних засобів — виконувани: без технічних засобів; із застосуванням простих засобів посилення інформаційного сигналу (суб'єктивні); з використанням технічних засобів (об'єктивні);

по глибині діагностування ТС — загальні і поелементні;

по ступені інформативності — методи, що забезпечують отримання інформації про момент появи відмови; місці виникнення дефекту; причині відмови при використанні автоматичних засобів діагностики;

по видах діагностичної інформації — методи діагностування, що виявляють відомості про самий контрольований процес, непрямі показники, супутні проходженню процесу.

Діагностичну інформацію отримують шляхом вимірювання ряду параметрів: величин вібрацій; акустичних коливань; власних деформацій деталі ТС; деформацій в стиках пар нерухомих і рухомих деталей, що сполучаються; зусиль, що діють в ТС; параметрів, супутніх процесу обробки (режими, температура окремих елементів ТС, тривалість циклів обробки, продуктивність).

По архітектоніці побудови процесу діагностування обладнання розрізняють: поелементні перевірки, групові перевірки, логічний аналіз симптомів відмови. Діагностування ТС є складним процесом. На рис. 3.43 представлені основні параметри діагностування металообробного обладнання з прив'язкою до окремих його складальних одиниць і елементів.

Розрізняють пасивні і активні засоби технічної діагностики. Пасивні служать тільки для визначення і оцінки показників, що характеризують поточний стан обладнання. Активні впливають на об'єкт діагностування, виробляють і посиляють сигнал, який викликає оцінювану реакцію обладнання.

За принципом діагностування всі технічні засоби підрозділяють на засоби: для перевірки роботи обладнання, для оцінки точності параметрів деталей, що виготовляються, або норм точності обладнання. Ці засоби бувають ручними, напівавтоматичними і автоматичними. По характеру вирішуваних завдань технічні засоби підрозділяють на засоби перевірки обладнання, за допомогою яких визначають його відповідність заданим технічним умовам, і засоби перевірки працездатності, за допомогою яких оцінюють можливість обладнання виконувати заданий алгоритм функціонування в робочому циклі.

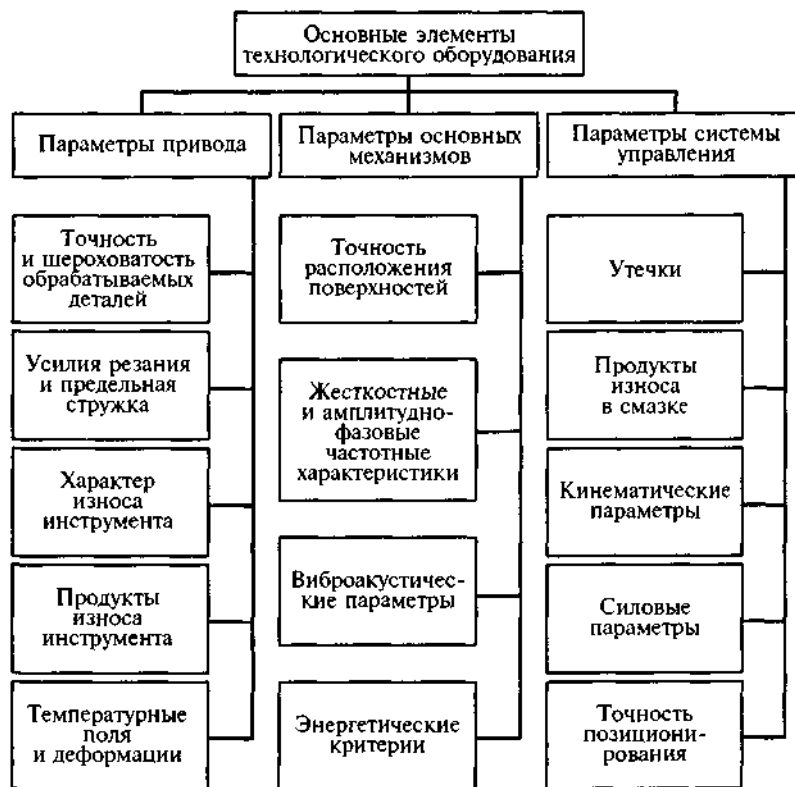


Рис. 3.43. Параметры діагностики основних елементів металооброблюваного обладнання

Відмови, що виникають в процесі експлуатації обладнання, класифікують: по зовнішньому прояву (явні і приховані), по функціонуванню і параметру, по взаємозв'язку (залежні і незалежні). Зовнішні прояви прихованих відмов залежать від декількох причин. Явні відмови елементів обладнання визначаються візуально. При відмові функціонування робота обладнання стає неможливою. При відмові по параметру розміри деталей, що виготовляються, виходять за межі встановленого допуску або час циклу виготовлення перевищує розрахункове значення, проте при цьому обладнання залишається працездатним. Поява незалежних відмов може бути викликана будь-якими причинами, окрім дії іншої відмови. Залежні (вторинні) відмови обумовлені дією первинної відмови.

Одним з простих і інформативних методів діагностування обладнання є метод термометрії, заснований на вимірюванні температури елементів обладнання. Використання цього методу дає можливість визначати і контролювати деформації складальних одиниць і окремих деталей обладнання, викликані нерівномірністю нагріву його окремих частин, обумовленою дією зовнішніх і внутрішніх джерел тепла. Термометрію закритих механізмів обладнання виконують за допомогою термометрів опори, а температуру складальних одиниць з наружними поверхностями—термоіндикаторів плавлення або термоіндикаторних фарб. Термоіндикатори виготовляють на основі суспензії з'єднань, чутливих до зміни температури, і наповнювачів в лаку на основі синтетичних смол. Досягши певної температури Термоіндикатори змінюють колір. Термоіндикатори в порівнянні з термометрами опору мають ряд переваг:

не вимагають використання спеціальної вимірювальної апаратури, володіють широким діапазоном вимірювання температур, їх можна використовувати для визначення температур рухомих деталей і вузлів, вони не руйнуються і не змінюють кольору при дії електричного струму різної частоти.

Прогнозування відмов технологічного обладнання

Одним з основних принципів ТОБ і ремонту технологічного обладнання, що працює у складі автоматизованих верстатних систем (АСС), заснованому на технічному діагностуванні, є попередження відмов обладнання за умови забезпечення максимально можливого його напрацювання. Основним елементом технічної діагностики метало ріжучого обладнання є прогнозування. Мета прогнозування — встановлення термінів безвідмовної роботи елементів обладнання до чергового ТОБ, ремонту і запобігання відмовам. Для прогнозування використовують метод діагностування стану по параметру «тривалість циклу». Застосовують два види прогнозування технічного стану — імовірнісне (середньостатистичне) і по реалізації зміни значень параметрів елементів конкретного обладнання.

Імовірнісне прогнозування засноване на статистичній обробці і аналізі результатів, отриманих в процесі проектування, виготовлення і експлуатації обладнання. Виходячи з цього, встановлюють допустимі межі значень параметрів, що характеризують параметри однотипного обладнання. При визначенні цих меж виходять з необхідності забезпечення допустимого рівня безвідмовної роботи обладнання і мінімальних сумарних витрат на його ТОБ. Імовірнісне прогнозування вимагає єдиної періодичності планового ТОБ для всієї сукупності обладнання одного типу. Це спрощує планування і організацію робіт по ТОБ і ремонту обладнання, що є перевагою цього виду прогнозування. До його недоліків відносять: можливе невикористання ресурсу обладнання, обумовлене єдиною періодичністю його ТОБ; виникнення відмов із-за розсіювання термінів безвідмовної роботи однотипного обладнання.

Метою *прогнозування по реалізації* є виявлення залишкового ресурсу обладнання, який є тривалістю роботи (напрацювання) обладнання після контролю його технічного стану до граничного стану, тобто до величини граничного зносу елементів, неприпустимої зміни якості деталей, що виготовляються, погіршення технологічних показників. Прогнозування по реалізації засноване на визначенні швидкостей зміни значень параметрів, що характеризують поточний стан обладнання. Ці зміни визначають шляхом вимірювань і подальшої обробки результатів з урахуванням характеру зміни контрольованих параметрів. Прогнозування по реалізації забезпечує повніше використання ресурсу обладнання при одночасному підвищенні його надійності і довговічності. При використанні цього виду прогнозування, наприклад технічного стану АЛ з агрегатних верстатів з жорстким зв'язком, виявляють відхилення параметра «тривалість циклу» від початкової величини.

Потім встановлюють найбільш вірогідний об'єм ремонтних робіт, виконання яких забезпечить відновлення справного стану АЛ. Далі визначають величину оптимального напрацювання АЛ з початку міжремонтного періоду, при наближенні до якої експлуатація АЛ не раціональна по економічних міркуваннях. Для цього використовують один з критеріїв оптимальності: максимальну продуктивність АЛ або мінімальну собівартість виготовлення на АЛ одній деталі. Для визначення оптимального періоду $T_{\text{опт}}$ експлуатації АЛ при лінійній зміні параметра діагностики по критеріях оптимальності можна використовувати залежності:

по критерію максимальної продуктивності

$$T_{\text{опт1}} = \sqrt{\frac{2\tau_H t_B}{\text{tg}\alpha}}.$$

Система діагностування ріжучого інструменту

Ефективність експлуатації АВС багато в чому залежить від організації, конструкції і якості роботи системи діагностики, стану ріжучого інструменту (СДРІ). Основні вимоги до СДРІ і до індикатора контакту (непрямий контроль розмірного зносу інструменту або ж прямий контроль інструменту) визначаються на підставі аналізу параметрів АВС, що діють, і класифікатора існуючих пристроїв контролю стану ріжучого інструменту.

1. СДРІ повинна включати наступні датчики: тензометричні (втулки або підшипники) в опорах ходових гвинтів приводів подовжньої і поперечної подачі і в опорах вузла шпинделя; шунти в електричних ланцюгах приводів подачі і головного приводу (струмові датчики); п'єзоелектричні датчики віброакустичної емісії; відеокамеру на ПЗЗ (приладах зарядового зв'язку). Склад СДРІ може уточнюватися залежно від конкретного типу обладнання.
2. СДРІ повинна забезпечувати завдання параметрів для діагностики ріжучого інструменту, диференційованих залежно від типу інструменту і режимів різання, на якому здійснюється обробка цим інструментом. Параметри діагностики повинні бути розділені на групи залежно від їх фізичного сенсу і частоти використання: налагоджувальні параметри, які забезпечують електричну стиковку з гнучким виробничим модулем (ГВМ) і змінюються оператором ГВМ дуже рідко; інструментальні дані, які змінюються або знов задаються при зміні інструментальної наладки; дані кадрів програми контролю для СДРІ, які містять інформацію про кожен контрольований прохід обробки і змінюються при відладці і роботі дуже часто.

Параметри діагностики повинні вводитися в СДРІ або з клавіатури, розташованої на передній панелі СДРІ, або передаватися по каналах електроавтоматики з програми (КП) пристрою числового програмного

управління (УЧПУ) верстатом, що управляє (залежно від конфігурації УЧПУ і СДРІ).

3. При виявленні хоч би однієї з перерахованих відмов СДРІ повинна видавати на вихідні розряди (клеми) сигнали, диференційовані залежно від виду відмови. Допустиме використання різних розрядів (клем) для різних вихідних сигналів про відмову ріжучого інструменту.
4. Клавіатура і дисплей СДРІ повинні бути розташовані на одній відстані від підлоги з клавіатурою і дисплеєм УЧПУ для забезпечення зручності роботи з СДРІ.
5. У СДРІ необхідно передбачити наступні режими роботи: навчання, контроль, автономний. У режимі навчання СДРІ здійснює запис в пам'ять значень навантаження (моменту приводів, складових сили різання, рівня віброакустичної емісії і ін., що крутить) на проходах, відмічених в УП вільно програмованими М-командами. У режимі контролю СДРІ здійснює діагностування відмов ріжучого інструменту за наслідками опиту всіх датчиків системи і видачу на вихідні розряди (клеми) диференційованого (залежно від виду відмови) вихідного сигналу. У автономному режимі СДРІ забезпечує можливість відладки параметрів діагностики. У режимі навчання СДРІ забезпечує можливість імітації процесу діагностики ріжучого інструменту при моделюванні різних відмов інструменту.
6. У всіх режимах робіт СДРІ повинна мати захист «від дурня», тобто блокувати всі неправильні натиснення на клавіатуру, а при послідовному триразовому неправильному натисненні на клавіатуру запрошувати цифровий або символічний пароль, без введення якого блокується подальша робота СДРІ в режимах навчання і контроль.
7. Індикатор контакту повинен складатися з інтерфейсу зв'язку з УЧПУ, вимірювальних головок (ЯРЕМ) для вимірювання деталі і інструментів, передавального модуля (індуктивного або на інфрачервоних променях) і програмного забезпечення, що поставляється разом з УЧПУ або з індикатором контакту.
8. Індикатор контакту повинен бути укомплектований щупами різної довжини і конфігурації з наконечниками з твердого сплаву або з синтетичного матеріалу підвищеної твердості (типу штучного рубіна). У автоматичному циклі контролю деталі на верстаті в інструментальній налагодці слід передбачити відповідну кількість вимірювальних головок.

9. Індуктивний приймач інформації повинен розташовуватися на нерухомій частині револьверної головки ГПМ з мінімальним зазором щодо вимірювальної головки, визначуваним поперечним биттям поворотної частини револьверної головки. Приймач інформації повинен бути захищений від попадання ЗОР.

Метод спектрографії діагностування технологічного обладнання

Серед безлічі методів технічної діагностики обладнання широко поширені методи діагностування, в основі яких лежить визначення змісту продуктів зносу в змащуючому матеріалі. При експлуатації металообробного обладнання деталі вузлів його механізмів схильні до зношування. Відокремлювані від поверхонь контактуючих деталей частинки матеріалу потрапляють в змащуючий матеріал. Концентрація продуктів зносу в маслі пропорційна інтенсивності зношування деталей. Інформація про хімічний склад матеріалів деталей, що труться, і статистичні дані про порівняльну інтенсивність зношування кожною з них дають можливість контролювати динаміку зношування деталей.

Для якісної оцінки продуктів зносу в маслі розроблені і використовують колориметричний, полярографічний, магнітно-індуктивний, радіоактивний методи. Найчастіше для діагностування обладнання застосовують метод спектрографії, який дає можливість визначати в пробах масла зміст будь-яких матеріалів, вживаних в машинобудуванні. Цей зміст знаходять шляхом розкладання випромінювань продуктів зносу, що відбуваються під дією дуги вольта, на окремі спектри. Результати аналізу отримують фотографуванням спектрів і їх подальшою розшифровкою. Аналіз проб на автоматизованих установках здійснюється за 3 ... 4 хв. Існує два різновиди даного методу: попереднє озолення проби масла і визначення по складу золи змісту продуктів зносу; безпосередній аналіз рідкої проби.

У першому випадку пробу в 5-10 частинах масла озоліють шляхом спалювання в тиглі, потім прожарюють залишок в муфельній печі при температурі 600 ... 800 °С до повного видалення сажі. Отриману золу змішують з трьома або більш ваговими частинами порошкоподібного графіту і фтористого літію, розтирають і заповнюють цією сумішшю кратер 2 нижні електроди 3 генераторних установок (рис. 3.52).

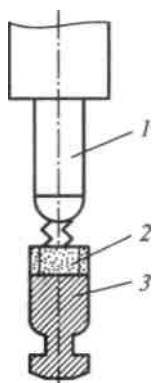


Рис. 3.52. Схема генераторної установки

При включенні установки між верхнім 1 і нижнім 3 електродами виникає вольтова дуга. Суміш, що знаходиться в кратері 2, випаровується, при цьому створюється свічення, яке прямує спочатку в спектральний прилад і далі в реєструючий пристрій. Для кількісної оцінки концентрації визначуваних елементів готують еталони з оксидів таких же елементів, розбавляючи їх порошком графіту і фтористого літію в певній пропорції. Метод озолення проб дає високу точність контролю об'єктів, проте він складний і трудомісткий. Його використання для діагностики обмежене.

У другому випадку використовують прямий спектральний аналіз масел, що прискорює і спрощує процес аналізу. Обертаючись з частотою 4-6 мін-1' дисковий електрод 2 захоплює з тигля 4 масляну плівку 3 і рівномірно подає її в дуговий розряд між електродами 1 і 2 (рис. 3.53). Використовуючи цей метод, можна визначати в маслі невеликі концентрації елементів (до $10^{-4}\%$).

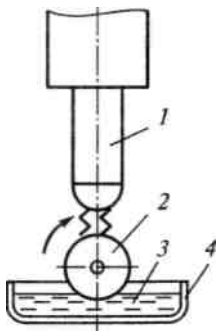


Рис. 3.53. Схема прямого спектрального аналізу

Для спектрального аналізу рідких проб масел можна використовувати стандартну малогабаритну фотоелектричну установку, яка складається з дугового генератора 3, штатива з електродами, спектрального приладу і вимірювального пристрою (рис. 3.54). Як спектральний прилад використовується поліхроматор, основним елементом якого є дифракційні ґрати 1, яка служить для розкладання загального світлового випромінювання на окремі спектри. Розкладання відбувається унаслідок наявності на внутрішній сферичній поверхні решітки великої кількості дрібних дзеркальних штрихів — 1200 штрихів на 1 мм. Кожна спектральна лінія, відображена дифракційними ґратами, є однорідним монохроматичним випромінюванням, що має певну довжину хвилі, властиву якому-небудь одному елементу, що міститься в пробі масла.

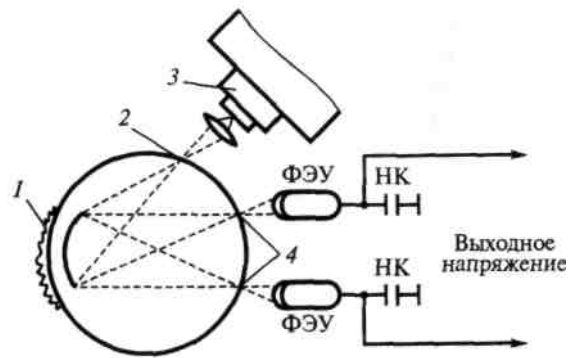


Рис. 3.54. Схема малогабаритного фотоелектричного пристрою для спектрального аналізу

Вимірювальний пристрій містить фотоприймачі випромінювання, інтегруючі накопичувальні конденсатори (НК) і реєструючий прилад (вольтметр) для вимірювання вихідної напруги. Як приймачі випромінювання можна використовувати, наприклад, фотоелектронні помножувачі ФЭУ, які перетворюють світлову енергію в електричну. Залежно від кількості приймальних каналів одночасно можна визначати вміст в пробі масла відповідної кількості різних елементів. Один ФЭУ, як правило, служить для прийому випромінювання від еталонних зразків, на основі аналізу яких будують тарировочні залежності.

Випромінювання розряду, що виникає між електродами, куди поміщена проба масла, що піддається випробуванню, прямує у вхідну щілину 2 спектральні прилади, відбиваючись від дифракційних ґрат, у вигляді монохроматичного випромінювання проходить через вихідні щілини 4, звідки потрапляє на ФЭУ. На ФЭУ виникають електричні заряди, які поступають на НК. Останні заряджаються. Напруга зарядки НК пропорційна усередненим за час аналізу інтенсивностям спектральних ліній. Інтенсивності, у свою чергу, залежать від кількісного вмісту в пробі аналізованих елементів. Після закінчення аналізу виконується вимірювання напруги. Чутливість визначення вмісту в маслі продуктів зносу у вигляді заліза, свинцю і кремнію рівна 0,00001%. Використання даного методу діагностування збільшує міжремонтний період експлуатації обладнання.

Лекція №4

Тема лекції: «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ»

План лекції

- 4.1. Визначення структури і основних характеристик виробничого процесу**
- 4.2. Умови застосування автоматичної складання**
- 4.3. Послідовність проектування технологічного процесу автоматичної збірки**
- 4.4. Типові і групові технологічні процеси складання**

Конспект лекції

4.1. Визначення структури і основних характеристик виробничого процесу

Високий рівень автоматизації виробничих процесів може бути досягнутий завдяки розробці і використанню інтегрованих виробничих комплексів (ІВК), які забезпечують автоматизацію всіх операцій по всьому циклу виробництва, починаючи від отримання замовлень на виготовлення виробів і кінчаючи їх постачанням споживачеві.

Створення підприємств (рис. 4.1) на базі таких ІВК можливо при конструктивній, технологічній, енергетичній, організаційно-виробничій, інформаційній і програмно-алгоритмічній сумісності елементів, що входять до складу виробничої системи. Сумісність забезпечує синхронність роботи всіх спеціалізованих виробництв підприємства: ливарного, ковальсько-пресового, випробувального і ін. Інтегрований виробничий комплекс об'єднує ГВС всіх вказаних виробництв.

При проектуванні автоматичних і автоматизованих виробничих процесів необхідний правильний вибір об'єктів виробництва для створення підрозділів ПК. Для цього слід виходити з оцінки організаційно-технологічної структури підприємства, що діє, обумовленою спеціалізацією її виробничих підрозділів — цехів, ділянок, тобто з оцінки відповідності їх спеціалізації і типу виробництва продукції. Для знов проектуваного підприємства таку структуру необхідно встановити.

Основними складовими ІВК є ГВС, що реалізують частини виробничого процесу. За призначенням їх підрозділяють на три класи: для виконання технологічних процесів вузлової або загальної збірки; для виготовлення напівфабрикатів або деталей; комбіновані — для виготовлення деталей і збірки на них складальних одиниць або виробів. По структурі ГВС підрозділяють на вузькономенклатурні і широкономенклатурні.

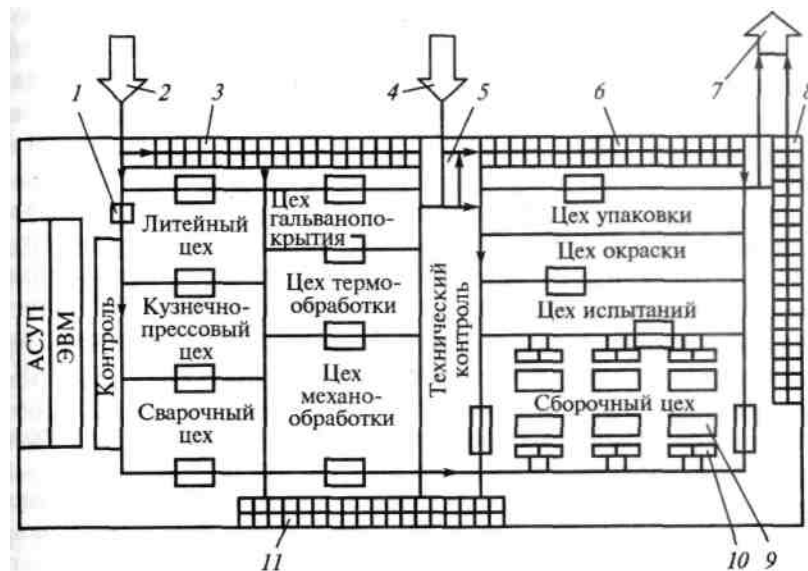


Рис. 4.1. Схема ГВС підприємства

Структура ГВС складається з двох компонентів: виробничої структури і технологічної структури. Технологічна структура включає номенклатуру збираних або таких, що виготовляються деталей, поверхонь, що сполучаються або оброблюваних, виконуваних операцій з їх взаємозв'язками і характеризується числом і типорозміру деталей, їх класифікаційними ознаками, послідовністю запуску: заготовок у виробництво і розміром партії, характером операцій, витратами часу на їх виконання, ступенем гнучкості технологічного маршруту. Виробнича структура включає у вигляді ряду елементів виробничі підрозділи (технологічні модулі, ділянки, лінії, допоміжні і оброблювальні відділення) і характеризується річною програмою випуску, сумарною трудомісткістю, продуктивністю, коефіцієнтом змінності, середніми значеннями коефіцієнтів завантаження і використання обладнання, складом елементів структури, взаємозв'язки між ними.

Організаційно-технічна структура підрозділяється на наступні структури: організаційну, таку, що характеризується взаємозв'язками підрозділів ГВС і їх зовнішніми зв'язками, формами організації праці, включаючи організацію переналагоджень і руху матеріальних потоків; функціональну, таку, що визначає завдання окремих підрозділів і служб їх забезпечення, функції обслуговуючого персоналу, зміст і форму документації; компонувальну, таку, що визначає склад і розташування основного і допоміжного технологічного обладнання, складських і завантажувально-розвантажувальних пристроїв, транспортні зв'язки; що інформаційно-управляє, визначає склад і розподіл функціональних завдань, технічні засоби, інформаційні потоки, засоби програмного забезпечення як системи управління ГВС в цілому, так і її окремих підсистем.

Проектування автоматизованих виробничих процесів починають з формування масивів інформації початкових даних, до яких відносяться: номенклатура виробів, що підлягають виготовленню, і передбачуваний об'єм випуску; ресурси; умови виробництва, що регламентуються; критерій оцінки

проектних рішень. Потім вибирають номенклатуру виробів, аналізують їх конструктивно-технологічні ознаки; формують групові технології, визначають число груп обладнання, число одиниць обладнання в кожній групі, формують структуру виробництва, визначають коефіцієнти завантаження обладнання, вирішують питання раціонального розподілу фонду часу роботи обладнання. Потім здійснюють системний аналіз проєктованих варіантів, що відображають характеристики виробничих процесів. На цьому етапі розглядають питання раціонального проєктування фонду часу, роботи обладнання, режимів його роботи, якості виробничого процесу. Під останнім розуміють рівні незавершеного виробництва і його складові в чергах в стадіях обробки і збірки; тривалість виробничого циклу; швидкості виробничого процесу і його етапів; продуктивність обладнання.

Далі вирішують завдання побудови виробничого процесу:

спеціалізації і концентрації виробництва; створення ділянок по детальної і подетально-групової спеціалізації; організації багато номенклатурних групових ліній; формування РТК і гнучких виробничих модулів; оперативного-календарного планування і так далі. До завдань оперативного-календарного планування і управління відносяться:

розробка лінійних подетально-поопераційних календарних планів-графіків; побудова оперативних змінно-добових календарних планів-графіків; оперативний облік, контроль і регулювання виробництва.

Потім за наявності функціональних підсистем АТСС, АСКВО, САК, АСК ТП, АСНІ, САПР, АСТПІ пов'язують з ними узагальнені характеристики виробничого процесу.

4.2. Умови застосування автоматичної складання

Мета автоматизації збірки — отримання мінімуму витрат праці, закладеної в засобах автоматизації при випуску заданої кількості продукції.

На рис. 4.2, *a* приведена структура витрат на збірку заданої кількості виробів в звичайному неавтоматизованому (I) і автоматизованому (II) виробництві; z_1 і z'_1 — витрати відповідно на виготовлення складального обладнання з урахуванням проєктно-конструкторської роботи; z_2 і z'_2 — витрати на збірку заданого числа виробів, що випускаються. Всі величини дані в одиничному масштабі, який характеризує витрати ручної праці. Із зростанням об'єму випуску виробів ефективність автоматизації збільшується. Лінія *A* (рис. 4.2б) характеризує залежність витрат z суспільних праці від числа n виробів, що випускаються, в автоматизованому виробництві, а лінія *B* — в неавтоматизованому. Точка n_0 характеризує об'єм випуску виробів, при якому обидва виробництва за витратами z є рівноцінними.

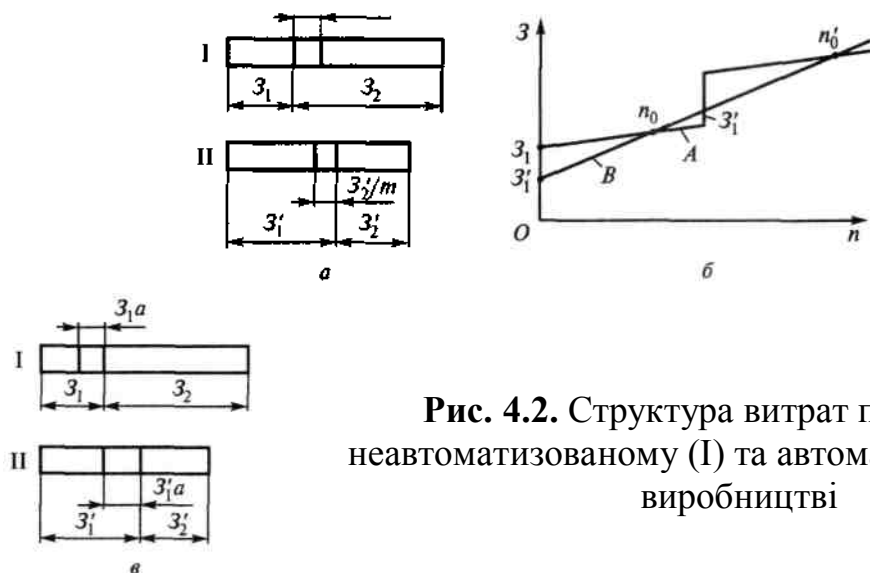


Рис. 4.2. Структура витрат праці виробів в у неавтоматизованому (I) та автоматизованому (II) виробництві

Собівартість збірки знижують шляхом скорочення всіх витрат виробництва в складальному цеху. У автоматизованому виробництві це завдання має певну специфіку. Укрупнену структуру собівартості збірки одного виробу в неавтоматизованому (I) і автоматизованому (II) виробництві можна представити схемами, приведеними на рис. 4.3, а, де Π і Π' — заробітна плата складальників, Ψ і Ψ' — цехові витрати, що враховують решту всіх витрат виробництва (амортизацію складального обладнання, витрати на його ремонт, електроенергію, заробітну плату допоміжних робочих і т. д.). При автоматизації зменшуються витрати на заробітну плату складальників, а цехові витрати знижуються трохи і в окремих випадках можуть зрости.

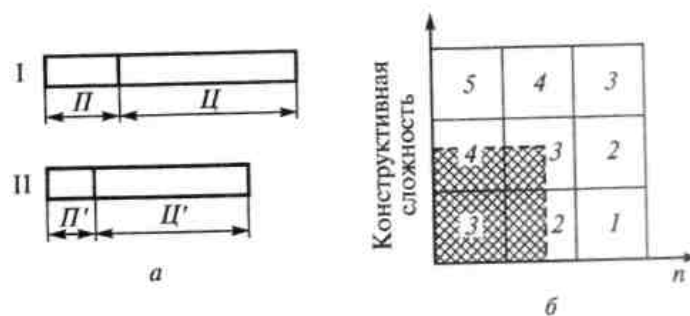


Рис. 4.3. Структура собівартості зборки(а) і зони використання автоматичної зборки (б)

Зони вживаності автоматичної збірки при використанні спеціальних засобів автоматизації (не переналагоджувані автомати і напіваавтомати) показані на рис. 4.3, б. Заштрихована ділянка визначає зону використання швидкопереналагоджуваних засобів автоматизації збірки — сборочних робіт з програмним управлінням. Найпростіше автоматизувати загальну збірку простих по конструкції виробів, що складаються з декількох елементів. Для складніших по конструкції виробів застосовують вузлову автоматичну збірку. При ускладненні конструкції виробів використовують часткову автоматичну збірку.

На рис. 4.4, *а* приведена залежність собівартості Z автоматичної збірки від об'єму n випуску виробів. Із збільшенням об'єму випуску собівартість збірки знижується, що обумовлене можливістю побудови складальних операцій з високим ступенем концентрації технологічних переходів. Якщо програма випуску незначна, то вигідно використовувати універсальні засоби автоматизації.

Під рівнем автоматизації a складки розуміють відношення тривалості збірки t_a на автоматизованих операціях до загальної тривалості t_e технологічного процесу збірки даного виробу $a = t_a/t_e$. На рис. 4.4, *б* показана залежність Π' (крива 1) і Π'' від a (крива 2) для умов масового виробництва. Із зростанням a вживане технологічне і наочно-транспортне обладнання конструктивно ускладнюється і дорожчає, що приводить до збільшення амортизаційних відрахувань по кожній одиниці складального обладнання на один виріб. При цьому скорочується число одиниць використовуваного обладнання.

Загальні амортизаційні відрахування на один виріб ростуть не так інтенсивно і у ряді випадків можуть навіть зменшуватися. Із зростанням a підвищується потужність засобів автоматизації, тому збільшуються витрати (крива 3) на всі види споживаної енергії (електричний струм, стисле повітря, газ і ін.). Число тих, що налагоджують зростає в 2-3 рази, ремонтних робочих—в 1,5-2рази. Заробітна плата Π'' інженерно-технічного і допоміжного персоналу збільшується в 1,5-2 рази (крива 4). Збільшуються витрати на складніші, а отже, дорогі інструменти і технологічне оснащення. При автоматизації складального виробництва зменшуються потрібні виробничі площі. Тому амортизаційні витрати на ремонт і зміст будівель і споруд знижуються. Залежність сумарних витрат—собівартість складки одного виробу — від a характеризує крива 5. Програми i і a визначають у кожному конкретному випадку найменшу собівартість C_{min} автоматичної збірки одного виробу (рис. 4.4, *в*).

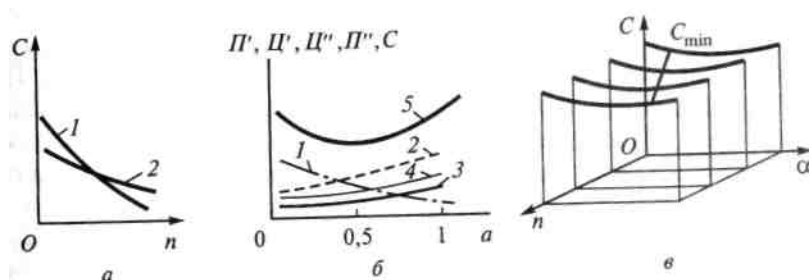


Рис. 4.4. Залежність собівартості автоматизованої зборки

Об'єм випуску і непостійний. Початку випуску виробів передуює розробка ТП збірки — ділянка I (рис. 4.5, *а*). Далі слідують етапи конструювання, виготовлення і відладки складального обладнання і оснащення — участок II; цю роботу виконують, якщо неможливо придбати готове обладнання. Потім починається випуск виробів, який постійно збільшується до заданого значення,

— ділянка *III*. Цю ділянку характеризує освоєння виробів у виробництві; він повинен бути по можливості коротким, а крива зростання випуску виробів крутішою. На ділянці *IV* випуск виробів постійний, а на ділянці *V*— поступово зменшується до нуля. Останню ділянку характеризує скорочення випуску виробів, обумовлене зменшенням попиту на них і їх моральним старінням. Ця ділянка характеризує також випуск запасних частин.

Із зменшенням випуску виробів *A* починається випуск виробів *B*, а далі виробів *C* і т. д. з повторенням всіх вказаних частин циклу складального виробництва. При *A -B-C* криві підсумовуються. З умов постійності завантаження складального цеху в часі сумарна крива повинна представляти пряму лінію *L*, паралельну осі абсцис. Ця умова забезпечується при поєднанні і рівності ділянок *III*(рис. 4.5, б) і *V*. Якщо дані ділянки не рівні, то при різному їх відносному зсуві на сумарній кривій виникають виступи і западини (рис. 4.5, в), характеризуюче перевантаження і недовантаження складального обладнання цеху, що небажано в автоматизованому виробництві.

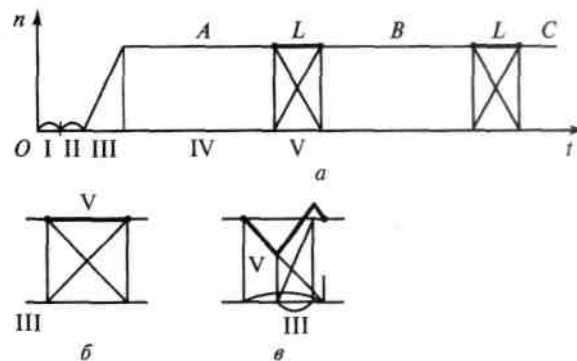


Рис. 4.5. Схема послідовності випуску виробів *A*, *B* і *C* в часі
 Спеціальне складальне обладнання конструюють на основі чіткого технічного завдання, що пропрацювало. Зміна витрат в часі на виготовлення складального обладнання показана на рис. 4.6. Ділянка *Про A* характеризує витрати на конструювання, *AB* — на виготовлення, *BC*—на відладку обладнання.

Автоматичну збірку в основному використовують в масовому виробництві. Терміни окупності засобів автоматизації часто перевищують передбачувану тривалість випуску виробів. У таких випадках автоматизацію проводять, використовуючи швидкопереналаджуване складальне обладнання, принципи групової технології, типізацію ТП. Автоматичне складальне обладнання створюють з типових вузлів і виконавчих механізмів. В умовах серійного виробництва застосовують складальні роботи.

У дрібносерійному і одиничному виробництві автоматична збірка виконується спеціалізованим обладнанням з програмним управлінням і роботами. Автоматизується в основному вузлова збірка. Автоматизацію загальної збірки використовують лише для виробів простій конструкції.

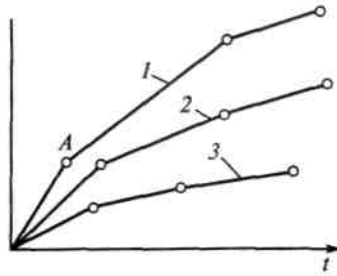


Рис. 4.6. Залежність витрат від випуску виробів А, В, і С в часі

4.3. Послідовність проектування технологічного процесу автоматичної збірки

При розробці ТП автоматичної збірки технолог-складальник або група технологів повинні визначити склад виробу, що випускається, технологічний маршрут операцій і прийоми збірки, вибрати обладнання або розробити структуру складального обладнання, виконати економічний аналіз, обґрунтування і розрахунок вибраного варіанту автоматизації, розрахувати режими обладнання, здійснити спеціальні дослідження. Повинні детально пропрацювати питання орієнтації, базування, транспортування і контролю якості виробів, а також розробки технічних завдань на конструювання спеціальних виконавчих пристроїв і оснащення. Проектні роботи виконують звичайним способом або з використанням засобів автоматизації проектування ТП.

Розроблений ТП автоматичної збірки є основою конструкторської, будівельної, транспортної, енергетичної і організаційної частин проекту. На основі технології визначають потребу в устаткуванні, виробничу площу, робочу силу, основні і допоміжні матеріали, вирішують питання спеціалізації, кооперації складального виробництва.

Технологічний процес автоматичної збірки виробу включає наступні етапи: підготовку деталей і комплектуючих виробів (промивка, очищення, реконсервація, попередній або 100 % - ний контроль комплектування і т. д.); завантаження деталей, що сполучаються, в бункерних, магазинних, касетних і інші завантажувальні пристрої в заздальгідь або остаточно орієнтованому; захоплення, відсікання і подачу деталей, що сполучаються, в орієнтуючі і базуючі пристрої складального пристосування; орієнтацію деталей, що сполучаються, на складальній позиції з точністю, що забезпечує зборка з'єднань; з'єднання і фіксацію зв'язаних деталей з необхідною точністю; контроль необхідної точності відносного положення зв'язаних деталей або складальної одиниці; виконання післязборочних операцій (наприклад, контроль на виході, заправка змащувальними матеріалами, паливом, випробування, регулювання, балансування, маркіровка, упаковка, рахунок, облік).

Побудова ТП залежить перш за все від конструктивних особливостей виробів, що випускаються, — габаритних розмірів, числа вхідних у виріб

деталей і складальних одиниць, характеру і складності з'єднань. Особливості збираного виробу і програма випуску визначають структурну схему ТП автоматичної збірки, послідовність виконання його операцій, їх повторюваність, параметри автоматичного обладнання і умови його настройки. Нераціонально спроектована технологія викликає втрати часу при експлуатації складального обладнання. При проектуванні ТП автоматичної збірки необхідно враховувати: програму випуску виробів; технологічність конструкції виробу і складових його елементів; забезпечення якості збираного виробу; розподіл переходів по складальних позиціях за часом їх виконання; точність і надійність відносної орієнтації деталей з'єднань, що сполучаються; надійність виконання з'єднань; контроль якості збираного виробу або його частин; налагоджувальні параметри складальних пристроїв; організацію виробництва. Перш ніж вирішувати комплекс завдань автоматизації збірки виробу, потрібно проаналізувати його службове призначення, технічні вимоги, визначити спосіб збірки, всіх його операцій (основних і допоміжних), що формують виріб і його якісні параметри.

Послідовність етапів проектування технології збірки показана на рис. 4.7.

Збір початкових даних. До початкових даних для проектування ТП автоматичної збірки відносяться: інформація складальних креслень і технічних умов або формалізований опис об'єктів збірки; техніко-економічні вимоги, що містять відомості про номенклатуру і програму випуску виробів, продуктивність і вартість складального обладнання, терміни освоєння випуску, допустимий час збірки; технічні вимоги (точність збірки, умова роботи виробу і т. д.).

Аналіз початкових даних. У складальному кресленні вироби повинні бути приведені: потрібні проекції і розрізи; специфікація складових його елементів; посадки в сполученнях; маса виробу і його складових частин. У технічних умовах повинні бути вказані: точність збірки, якість сполучень, їх герметичність, жорсткість стиків, моменти затягування різьбових з'єднань, точність балансування частин, що обертаються, методи виконання з'єднань, бажана послідовність збірки, методи проміжного і остаточного контролю виробів. На основі рекомендацій по технологічності конструкції виробів визначають, чи необхідні конструктивні зміни, що забезпечують автоматичну збірку. Якщо зміни внести неможливо, збірку даної частини виробу (на даній операції) виконують уручну або з використанням засобів механізації. Аналіз конструкції виробу і складових його деталей дозволяє визначити, який вид збірки по ступеню автоматизації раціональнее застосувати.

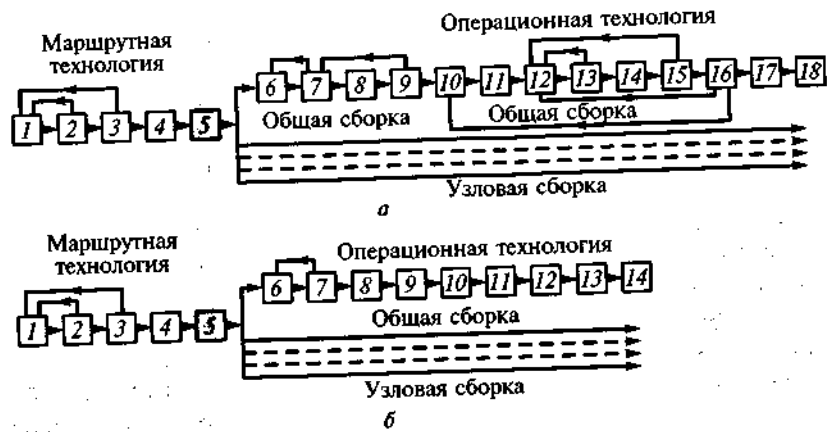


Рис. 4.7. Послідовність етапів проектування технології зборки для виробництва

Складання технологічних схем автоматичної збірки. Аналіз конструкції і вивчення технічних умов на виріб закінчують складанням технологічних схем загальної і вузлової збірки виробу. Це перший етап розробки ТП. Технологічні схеми збірки складають на основі аналізу складальних креслень виробу. Вони відображають маршрут збірки виробу і його складових частин. На цьому етапі виявляють оптимальний ступінь розчленовування виробу на елементи, що становлять, і вибирають можливі методи автоматичної збірки різних з'єднань. Розробляють різні технологічні варіанти схем складки, що містять відомості про доцільність диференціації і концентрації операцій, можливих варіантах схем базування, відносній орієнтації деталей і їх закріплення. Розраховують умови собираемости деталей. Вибирають бункерні орієнтуючі, транспортні, контрольні і інші пристрої. На основі техніко-економічного аналізу вибирають найбільш раціональний варіант обладнання для збірки.

Послідовність збірки визначають на основі аналізу розмірних ланцюгів виробу, кожна з яких призначена для вирішення конкретного завдання. Визначаючи послідовність збірки, враховують функціональний взаємозв'язок елементів виробу, конструкцію базових елементів, розміри і масу приєднаних елементів, ступінь їх взаємозамінності, а також те, що легко узгоджувані елементи бажано встановлювати в кінці збірки.

Наочне уявлення про технологічність виробу дають схеми складки, що передбачають виділення ступенів ТП. Можна також використовувати форму схеми збірки, що показує розташування збираних елементів з вказівкою технологічній послідовності збірки (рис. 4.8). За початкову приймають базову деталь 1-1, до якої приєднуються по дві деталі 1-2 і 1-3. В результаті цього утворюється складальна одиниця. До цієї збірки приєднується друга складальна одиниця, утворена з деталей 2-1, 2-2, 2-3 і т. д. Деталі на схемі позначені прямокутниками, усередині яких дається індексація і в нижній частині—наименование деталей. Складальній одиниці привласнюється порядковий номер складальної одиниці (вузла) $i = (1, n)$. Цим же номером наголошуються і окремі деталі, що входять в 1-у складальну одиницю. Виріб, зібраний по даній схемі, має три ступені складальних одиниць. Проте подібні схеми не дають чіткого

уявлення про зв'язки між окремими елементами всього складального процесу і не дозволяють виявити його раціональну структуру, пов'язану з виконуваними роботами.

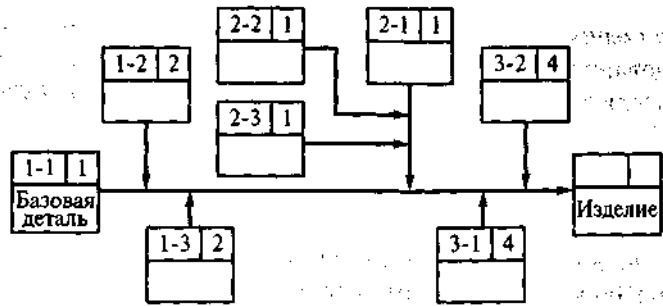


Рис. 4.8. Схема розташування збірочних елементів при з'єднанні деталей

Найбільшою інформативністю володіють технологічні схеми загальної і вузлової збірки, на яких указують не тільки технологічні, але і допоміжні операції, обумовлені особливостями автоматичної збірки — контроль, поворот або перевертання збираного об'єкту, змазування і ін. (рис. 4.9). Деталі і складальні одиниці на схемі зображаються прямокутниками з індексацією номерів (найменувань), а операції — куклями з послідовною нумерацією.

При цьому під операцією при багатоопераційній автоматичній збірці розуміють дії над збираним об'єктом, що виконуються на певній робочій позиції автоматичного обладнання. Позиції зв'язані між собою транспортною системою. На схемах слід позначити ділянки ручної і механізованої збірки, на яких автоматизована збірка утруднена або неможлива.

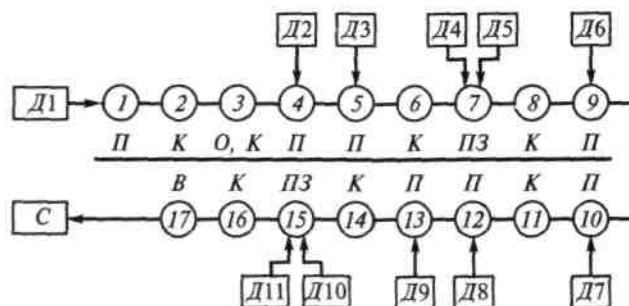


Рис. 4.9. Технологічна схема зборки

Визначення типу виробництва. Типи виробництва в складальному цеху визначають окремо для виробу і його складових частин, оскільки вони можуть бути різними. При потоково-масовому виробництві автоматичну збірку виробів виконують на високопродуктивних спеціальних автоматичних лініях, зокрема переналагоджуваних. При середньосерійному виробництві збірку здійснюють партіями на автоматичному устаткуванні. Використовують також змінно-потоківі або групові автоматичні лінії для конструктивно або технологічно схожих виробів. Гнучкі автоматичні лінії будують на базі гнучких виробничих модулів (ГВМ), автоматизованого транспортного обладнання і

автоматизованих робочих місць (АРМ) з управлінням від центральної ЕОМ. Для ГАЛ характерні потокові методи організації складки, високі синхронізація операцій і продуктивність. У дрібносерійному багатомономенклатурному виробництві збірку виконують на устаткуванні з мікропроцесорним управлінням, що обслуговується автоматизованою транспортною системою, яка разом з ЕОМ утворює гнучку автоматизовану ділянку збірки.

При поточковому методі роботи штучний час на операцію повинен бути декілька менше темпу збірки для створення резерву на випадок затримок збірки або кратно темпу. Коефіцієнт завантаження обладнання повинен бути високим (не менше 0,95). На перших операціях поточної лінії його потрібно брати менше, ніж на останніх операціях збірки. Це забезпечує велику надійність роботи лінії у разі відмов обладнання.

Вибір організаційної форми автоматичної збірки. Організаційну форму збірки слід вибирати залежно від конструкції виробу, його розмірів, маси, програми і терміну випуску. Організаційну форму збірки встановлюють роздільно для виробу і його складових частин. У загальному випадку вони можуть бути різними. Варіант організаційної форми автоматичної збірки конкретного виробу вибирають на основі розрахунків собівартості збірки з урахуванням термінів підготовки і оснащення виробництва необхідним обладнанням.

Залежно від організаційних форм розрізняють автоматичну збірку, стаціонарну і конвеєрну. Стаціонарну збірку виконують на спеціальному устаткуванні або за допомогою Ін. Її в основному використовують в масовому і серійному виробництві для збірки невеликих вузлів. Конвеєрну збірку на автоматичних лініях в більшості випадків виконують з періодичною зупинкою збираного виробу. Збірка з безперервним переміщенням виробу здійснюється на конвеєрах, оснащених ПР, а також на роторних автоматичних лініях.

Розробка маршрутної технології загальної і вузлової автоматичної збірки. Маршрутну технологію складають на основі технологічних схем складки. Вона включає всі технологічні, контрольні і допоміжні операції, що виконуються автоматично або уручну. Зміст операцій встановлюють залежно від вибраного типу виробництва і темпу збірки. При побудові маршрутної технології потрібно прагнути до одночасного виконання (об'єднанню) декількох операцій, що забезпечує скорочення циклу збірки і потреби у виробничих площах. При масовому виробництві зміст операції повинен бути таким, щоб її тривалість була декілька менше темпу збірки або кратно йому.

При серійному виробництві зміст операції приймають таким, щоб вузлова і загальна збірка виробів забезпечували високе завантаження обладнання.

При побудові маршрутної технології необхідно виділити операції з великою вірогідністю відмов і передбачити на даному етапі ч виробничі заділи. На основі маршрутної технології розробляють технічне завдання засобів автоматизації. При розробці визначають тип технологічного і транспортного обладнання, яке потім уточнюють на подальших етапах проектування технології збірки.

Вибір технологічних баз, схем базування виробу при вузловій і загальній автоматичній збірці. Відповідальним етапом проектування ТП автоматичної збірки є вибір технологічних баз і схем базування, які повинні забезпечити задану точність збірки, зручність її виконання, простоту конструкцій пристосувань, обладнання і транспортних засобів. При виборі технологічних баз прагнуть витримати принципи поєднання, постійності і послідовності зміни баз. У кожному конкретному випадку може бути використане декілька схем базування. При аналізі схем розраховують погрішності установки. Якщо передбачена організована зміна баз, то перераховують відповідні розміри і допуски на них, визначають допуски на параметри технологічних баз. Для скорочення числа варіантів схем базування слід застосовувати типові рішення. Технологічні бази вибирають з урахуванням забезпечення зручності установки і зняття збираного виробу, надійності і зручності його закріплення, можливості підведення з різних сторін приєднаних деталей і складальних інструментів. Розрізняють базування базової деталі виробу або окремої його частини при їх установці в складальне пристосування і базування деталей, що сполучаються, при вузловій або загальній збірці.

Використовують стаціонарні позиційні пристосування або пристосування-супутники. У обох випадках слід дотримувати принципи поєднання і постійності баз. З'єднання двох деталей при автоматичній збірці повинне забезпечити їх 100 % - ну собираемость.

Побудова операцій автоматичної складання. Етап побудови операцій збірки є найбільш трудомістким і складним при проектуванні технології автоматичної збірки. Він включає: уточнення змісту операцій; підвищення ступеня концентрації переходів; чітке розмежування всіх елементів операції, що становлять, — від орієнтації деталей, що сполучаються, до видалення збираної частини виробу або його самого; технологічні розрахунки; визначення сил пресування, затягування різьбових з'єднань, клепок і т. д.; визначення штучного часу по елементах виробу і в цілому.

На цьому етапі визначають основну технологічну характеристику необхідного складального обладнання: структурну схему; кінематичні і динамічні параметри; розмір робочої зони для розміщення збираного виробу з оснащенням; систему управління; ступінь автоматизації робочого циклу; здібність до переналагодження. За відсутності обладнання, що серійно випускається, розробляють технічне завдання на його проектування, при його наявності вибирають модель.

Розробляють технічне завдання на конструювання спеціальних складальних інструментів, складального пристосування з вказівкою прийнятих схем базування, способів автоматичної подачі і орієнтації деталей і зняття готового виробу. Визначають методи необхідного контролю виконання збірки, тип блокувальних пристроїв, застережливих аварійні ситуації і брак.

При проектуванні операції збірки на багатопозиційних верстатах і АЛ визначають завантаження обладнання по окремих позиціях будують циклограми роботи, встановлюють структуру і тип лінії, необхідні заділи і

накопичувачі, конфігурацію лінії в плані для її стиковки з складними ділянками складального цеху. Складають технічне завдання на проектування лінії.

Норми часу на складальні операції визначають розрахунково-аналітичним методом.

4.4. Типові і групові технологічні процеси складання

Типізація ТП збірки є основною формою їх стандартизації. Вона сприяє зменшенню витрат на проектування технології, собівартості виробництва виробів. Типові ТП автоматичної збірки базуються на класифікації збираних виробів, складальних одиниць і з'єднань по їх конструктивних особливостях. Збирані вироби і складальні одиниці класифікують по спільності їх службового призначення, видам з'єднань і по числу деталей, що входять в складальну одиницю.

Вироби або їх складові частини підрозділяють на класи по спільності технологічних завдань, що виникають при їх збірці. Кожен клас виробів розділяють на підкласи, групи і підгрупи. При цьому враховують конструктивні ознаки виробів, їх розміри, узагальнюють вирішення технологічних завдань з метою знаходження загального підходу до проектування технології збірки окремих виробів і їх елементів. Визначають типовий представник (один або декілька), яким є виріб (складова частина виробу), що характеризується сукупністю ознак. Дані вироби мають однаковий маршрут операцій, що виконуються на однотипному складальному устаткуванні з використанням однорідних пристосувань і інструментів. У класифікаціях, що розробляються, враховують виробничі умови: серійність випуску, частоту змінності об'єкту збірки. Роботу по класифікації завершують складанням класифікаторів, що дозволяє ділити об'єкти збірки, що типізуються, по характерних конструктивних і технологічних ознаках. Класифікатори оформляють у вигляді таблиць, в яких по вертикалі і горизонталі відкладені вказані ознаки об'єктів збірки.

Потім розробляють загальні ТП і встановлюють типову послідовність і зміст операцій, типових схем базування і конструкцій оснащення. Якщо виробу уніфікований достатньо повно, то на них складають одну загальну технологічну карту з нормами часу.

При меншому ступені уніфікації на базі принципового ТП складають технологію для конкретних виробів. Типовий ТП автоматичної збірки повинен складатися в основному з типових складальних операцій, а складальні операції — з типових технологічних переходів, що дозволяє вибрати типові складальні обладнання в його окремі типові механізми.

Основою групових ТП збірки є спільність конструктивних особливостей виробів і технології їх збірки. Це дає можливість в умовах мелко- і середньосерійного виробництва виконувати ТП складки, характерні для великосерійного і масового виробництва, переходити від непотокового до потокового виробництва. Метод групової технології володіє великими

можливостями уніфікації ТП, чим типові ТП. При його використанні підвищуються безперервність, прямоточність і ритмічність виробництва.

У групових поточкових лініях обладнання розташовують по маршруту складки близьких по конструкції і розмірам виробів (або їх частин) декількох найменувань. Всі закріплені за лінією виробу збирають періодично партіями. У кожен момент часу лінія працює як безперервно-поточкова. Перехід до збірки іншого виробу можливий без переналагодження лінії або з частковим, нескладним переналагодженням. Групову технологію збірки слід використовувати в межах цеху або всього заводу. Вона повинна охоплювати весь комплекс виробів, що випускаються, що дає найбільший техніко-економічний ефект. Групові ТП в основному розробляють для вузлової збірки; для загальної збірки їх використовують рідко і лише для простих по конструкції виробів.

Проектуванню групових ТП або операцій збірки передують класифікація виробу. При підборі виробів в групу проводять аналіз креслень і технічних умов, технологічності. Проектування виконують в такій послідовності:

1. підбирають групу виробів, що задовольняють вимогам групової збірки; намічають маршрут збірки, зміст операцій; орієнтування визначають оперативний час збірки;

2. уточнюють зміст операцій і розробляють наладки для найбільш складних виробів групи, які випускають в найбільшій кількості; розробляють наладки для інших виробів групи; визначають штучний час збірки;

3. визначають вимоги до складального обладнання;

4. розробляють конструкції складальних пристосувань і інструментального оснащення; уточнюють режими і умови виконання операцій збірки; остаточно встановлюють норми часу;

5. складають технологічну документацію на кожен виріб;

6. визначають техніко-економічні показники групової збірки.

Питання для самоперевірки

1. Які параметри визначають умову застосування автоматичної збірки?

2. У якій послідовності проектують автоматичне складальне обладнання?

3. У чому полягає умова застосування автоматичної збірки?

4. Назвіть послідовність проектування технологічного процесу автоматичної збірки.

5. Дайте характеристику типовим ТП збірки.

6. Дайте характеристику групових ТП збірки.

7. З чого складаються загальні витрати праці на збірку?

8. Як залежить собівартість автоматичної збірки від програми випуску?

9. Як змінюються витрати по виготовленню складального обладнання в часі?

Лекція №5
Тема лекції: «МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ
І КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗАЦІЯ»

План лекції

5.1. Вимоги до математичних моделей і їх класифікація

Методика розробки математичних моделей елементів виробничих систем

5.2. Структурні моделі технологічних процесів

Підсистеми математичних моделей

Інтеграція автоматизованих систем

5.3. Розвиток інформаційних технологій і створення віртуальних виробничих систем

Конспект лекції

5.1. Вимоги до математичних моделей і їх класифікація

Під математичною моделлю (ММ) ТП і його елементів розуміють систему математичних співвідношень, що описують з необхідною точністю об'єкт, що вивчається, і його поведінку у виробничих умовах. При побудові ММ використовують різні математичні засоби опису об'єкту: теорію множин, теорію графів, теорію вірогідності, математичну логіку, математичне програмування, диференціальні або інтегральні рівняння і ін.

До математичних моделей пред'являють вимоги високої точності, економічності і універсальності. Економічність ММ визначається витратами машинного часу (роботи ЕОМ). Ступінь універсальності ММ визначається можливістю їх використання для аналізу більшого числа ТП і їх елементів. Вимоги до точності, економічності і ступеня універсальності ММ суперечливі. Тому необхідно мати вдале компромісне рішення.

Ступінь універсальності ММ характеризує повноту відображення в моделі властивостей реального об'єкту. Проте ММ відображає лише деякі властивості об'єкту. Так, більшість ММ використовують при функціональному проектуванні, наприклад, знаходження оптимальних режимів різання, розрахунок продуктивності і ін. При цьому не завжди потрібний, щоб ММ описувала всі властивості об'єкту, як, наприклад, геометрична форма складових його елементів.

Точність ММ оцінюють ступенем збігу значень параметрів реального об'єкту і значень тих же параметрів, розрахованих за допомогою оцінюваної ММ.

Адекватність ММ — здатність відображати задані властивості об'єкту з погрішністю не вище заданою. Оскільки вихідні параметри є функціями

векторів параметрів зовнішніх Q і внутрішніх X , погрішність ϵ , залежить від значень Q і X .

Економічність ММ характеризується витратами обчислювальних ресурсів (витратами машинних часу T_m і пам'яті P_m на її реалізацію).

У математичних моделях є дві групи змінних — незалежних (час) і залежних (фазових). Такими змінними є сили і швидкість переміщення в механічних системах, напруга і сила струму в електричних системах і тому подібне

Теоретичні моделі будують на підставі вивчення закономірностей. На відміну від формальних моделей (наприклад, емпіричних, таких, що описують режими різання) вони в більшості випадків більш універсальні і справедливі для широких діапазонів зміни технологічних параметрів. Теоретичні моделі бувають лінійні і нелінійні, а залежно від потужності безлічі значень змінних — безперервні і дискретні. При технологічному проектуванні найбільш поширені дискретні моделі, змінними яких є дискретні величини, а безліч вирішень рахункового. Розрізняють також моделі динамічні і статичні. В більшості випадків проектування технологічних процесів використовують статичні моделі, рівняння яких не враховують інерційність процесів в об'єкті.

Залежно від складності завдання використовують різні принципи побудови моделей. Часто виникає необхідність розробки менш точної моделі, але проте кориснішою для практики. Виникають два завдання: з одного боку, потрібно розробити модель, на якій найпростіше отримувати чисельне рішення, а з іншої — забезпечити максимально можливу точність моделі. З метою спрощення моделі використовуються такі прийоми, як винятки змінних, зміна характеру змінних, зміна функціональних співвідношень між змінними (наприклад, лінійна апроксимація), зміна обмежень (їх модифікація, поступове введення обмежень в умову завдання). Моделі, будучи ефективним засобом дослідження структури завдання, дозволяють виявити принципово нові стратегії.

Методика розробки математичних моделей елементів виробничих систем

У загальному випадку процедура отримання ММ елементів включає наступні операції:

1. Вибір властивостей об'єкту, які підлягають віддзеркаленню в моделі. Цей вибір заснований на аналізі можливих застосувань моделі і визначає ступінь універсальності ММ.

2. Збір початкової інформації про вибрані властивості об'єкту. Джерелами відомостей можуть бути досвід і знання інженера, розробляючого модель, науково-технічна література, перш за все довідкова, опису прототипів — наявних ММ для елементів, близьких по своїх властивостях до досліджуваного, результати експериментального вимірювання параметрів і тому подібне

3. Синтез структури ММ. *Структура ММ* — загальний вид математичних співвідношень моделі без конкретизації числових значень параметрів, що фігурують в них. Структуру моделі можна представити також в графічній формі, наприклад у вигляді еквівалентної схеми або графа. *Синтез структури* — найбільш відповідальна і з найбільшою працею що піддається формалізації операція.

4. Розрахунок числових значень параметрів Мм. Це завдання ставиться як завдання мінімізації погрішності моделі заданої структури.

5. Оцінка точності і адекватності Мм. Для оцінки точності повинні використовуватися значення $y_{НСТ}$, які не фігурували при рішенні задачі.

5.2. Структурні моделі технологічних процесів

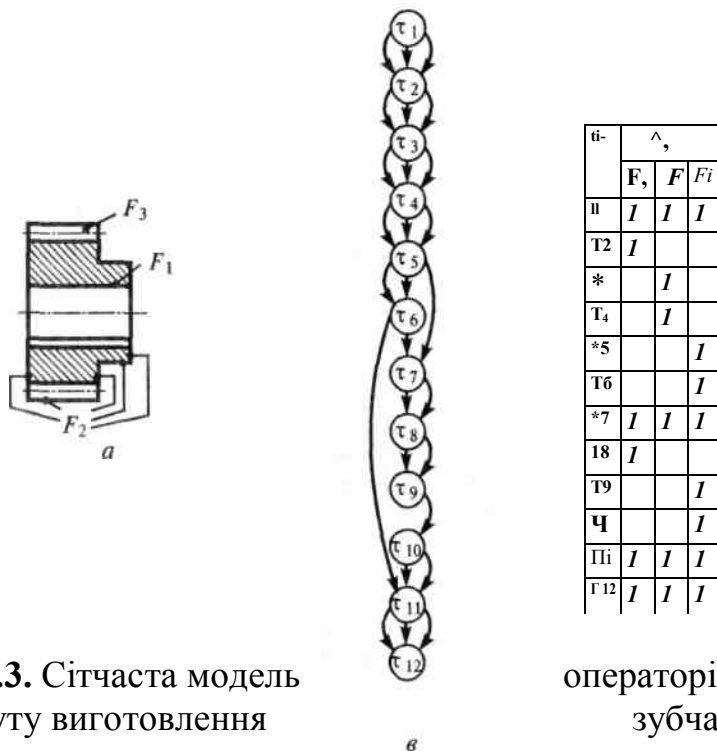


Рис. 5.3. Сітчаста модель маршруту виготовлення

операторів технологічного зубчастого колеса

Підсистеми математичних моделей

Більшість технічних підсистем характеризують за допомогою фазових змінних. Фазові змінні утворюють вектор невідомих в ММ технічної системи. Для кожної фізичної підсистеми характерні свої закони, проте для простих елементів форма рівнянь, що виражають їх, виявляється однаковою. Нижче як приклад приводяться електрична і механічна підсистеми.

Електрична підсистема. Фазовими змінними електричної підсистеми є струми I і напруга U . Запишемо рівняння трьох типів простих елементів:

- рівняння опору (закон Ома) $I = U/R$, де R — електричний опір;
- рівняння ємності $I = C(dU/dt)$, де C — електрична ємність;
- рівняння індуктивності $U = L(dI/dt)$, де L — електрична індуктивність.

Механічна поступальна система. Фазові змінні механічної поступальної підсистеми — сили F і швидкості V — відповідно аналоги струмів і напруги. Запишемо рівняння трьох типів простих елементів:

а) рівняння в'язкого тертя $F = V/R_M$, де $R_M = 1/k$ — аналог електричного опору; k — коефіцієнт в'язкого тертя;

б) рівняння маси (рівняння другого закону Ньютона) $F' = ma = C J dV/dt$, де $a = dV/dt$ — прискорення $C_m = m$ — аналог електричної ємності (маса елементу);

в) рівняння пружини $F = kx$, де x — переміщення; d_0 — жорсткість пружини.

Продиференціюємо обидві частини рівняння за часом: $dF/dt = kV$, або $V = L_M (dF/dt)$, де $L_M = 1/k$ — аналог електричної індуктивності.

Аналогічне компонентне рівняння можна отримати із закону Гука для елемента, у якого враховується стисливість, тобто $P = E(\Delta l/l)$, де l — напруга в елементі; E — модуль Юнга; l — довжина елемента; Δl — зміна довжини елемента. Помноживши обидві частини цього рівняння на площу S поперечного перетину елемента і продиференціювавши за часом, отримаємо: $d(PS)/dt = (ES/l)(d\Delta l/dt)$; $d(\Delta l)/dt = V$; $PS = F$; $dF/dt = (ES/l)V$, або $V = L_M (dF/dt)$; $L_M = l/(ES)$.

Механічна обертальна підсистема. Фазові змінні цієї підсистеми — моменти сил M і кутові швидкості ω — відповідно аналоги струмів і напруги. Запишемо рівняння трьох типів простих елементів:

а) рівняння в'язкого тертя обертання $M = \omega/R_{BP}$, де $R_{BP} = 1/k$ — аналог електричного опору; k — коефіцієнт тертя обертання;

б) основне рівняння динаміки обертального руху $M = J(d\omega/dt)$, де J — аналог електричної ємності (момент інерції елемента);

в) рівняння кручення бруса з круглим поперечним перетином $M = GJQ$, де M — момент, що крутить; G — модуль зрушення; J_p — полярний момент інерції перетину; $Q = d\phi/dl$ — відносний кут закручування.

Розглянемо брус кінцевої довжини, тоді $Q = \phi/l$, де ϕ — кут закручування; l — довжина бруса. Продиференціюємо обидві частини рівняння за часом, тобто $dM/dt = (GJ_p/l)(d\phi/dt)$, або, якщо врахувати, що $d\phi/dt = \omega$ і $L_{BP} = l/(GJ_p)$, то $\omega = L_{BP} (dM/dt)$, де L_{BP} — аналог електричної індуктивності (обертальна гнучкість).

Аналогічне компонентне рівняння можна отримати для спіральної пружини, рівняння якої $M = c\phi$, де c — жорсткість пружини. Продиференціювавши обидві частини рівняння за часом, отримаємо $\omega = L_{BP} (dM/dt)$; $L_{BP} = 1/c$.

Інтеграція автоматизованих систем

Ефективність створення і експлуатації АВС забезпечується інтеграцією окремих автоматизованих систем: АСНД, САПР К, САПР ТП (АСТПВ),

АСУ ТП, АСУП. За кордоном такі системи отримали назву СІМ (Computer Integrated Manufacturing).

Як приклад на рис. 5.14 приведена інтегрована автоматизована система проектування ТП і АСУ ТП при виготовленні деталей на багато позиційних верстатах з ЧПУ. Спочатку проектували ТП і створювали базову програму, що управляє. При виготовленні деталей виникали відмови, які реєстрували. Проводився аналіз виробничої ситуації, і автоматично ухвалювалося рішення подальших дій (див. рис. 5.14).



Рис. 5.14. Схема функціонування інтегрованої системи проектування ТП

Програми, що управляють, будували так, щоб можна було виключити окремі їх фрагменти при виникненні різних відмов.

Подальший розвиток САПР в машинобудуванні пов'язують з інтенсивним розвитком НІОКР в області комп'ютерних технологій, створенням комп'ютерних віртуальних конструкцій, технології, оснащення, інструментів, виробництв, що приведе до значного прискорення освоєння випуску нових виробів. Використання методів промислової логістики дає можливість на стадії проектування мінімізувати витрати на освоєння нової продукції.

Методологію проектування власної продукції, а також спеціальне програмне забезпечення відносять до категорії ноу-хау, що складає комерційну таємницю підприємства. Тому використання інваріантних систем проектування, що поставляються зарубіжними фірмами, матиме обмежений характер, оскільки вони не забезпечують стрибок в підвищенні якості продукції. Отримання економічної віддачі від вкладених засобів в комп'ютерні технології проектування і виробництва вимагає від підприємств поетапного і системного підходу до проведення робіт по комп'ютеризації,

створенню певної «критичної маси» спеціалізованого програмного продукту, що забезпечує окупність проведених витрат і отримання прибули.

Перевага віддається інтелектуальним системам, основою для створення яких є штучний інтелект на базі евристичного програмування. В цьому випадку значущі евристики, засновані на подальшому розвитку наукових основ технології машинобудування, зокрема на створенні теорії і практики ухвалення рішень, зокрема формалізованих.

Подальший розвиток САПР пов'язаний з глобальними процесами інформатизації і комп'ютеризації, що відкриває широкі можливості підвищення ефективності в машинобудуванні. Ці можливості стали реальністю завдяки сукупності методів і засобів CALS-технологій, представлених в серії міжнародних стандартів.

5.3. Розвиток інформаційних технологій і створення віртуальних виробничих систем

Кількісні і якісні зміни в розвитку сучасного машинобудування вимагають не простий, часткового переналагодження окремих елементів ТП (обладнання, технологічного оснащення), а глибоких змін у всьому виробництві, включаючи виробничі і ТП, організацію і управління. Найбільшої актуальності проблема переналагодження ВС набуває в сучасний період розвитку машинобудування. Цей період характеризується необхідністю забезпечення конкурентоспроможності вироблюваної продукції, що означає оперативне реагування на зміну споживчого попиту, зниження собівартості її випуску при істотному скороченні термінів випуску і підвищенні якості. Ця проблема передбачає рішення задачі технічного переозброєння машинобудування, пов'язаного перш за все із збільшенням номенклатури продукції, що випускається, що вимагає створення швидко переналагоджуваних ВС.

Якщо в умовах масового і великосерійного виробництв ВС однозначно орієнтовані на випуск конкретного виробу, то в умовах серійного, дрібносерійного і одиничного вони орієнтовані на виконання деякої безлічі технологічних операцій. В цьому випадку ВС по об'єктивних причинах виявляються недовантаженими. Утворюється фонд вільного часу по кожному виду технологічного обладнання, що істотно знижує рентабельність ВС в цілому.

Кожна з існуючих ВС спочатку орієнтована на випуск певної групи видів виробів. Їх параметри з погляду технології виготовлення виявляються різними (одні ВС орієнтовані на випуск переважно деталей типу тіл обертання інші — корпусних і т. д.). При цьому доводиться говорити про ВС, як про РВС. Під РВС розумітимемо окремі ВС, організаційно не зв'язані між собою технологічним обладнанням, необхідним для виконання ТП виготовлення конкретного виду заданої для них продукції.

Останнім часом швидкість організаційних перебудов в проектних організаціях істотно випереджає швидкість перебудови на промислових підприємствах, що підсилює конкуренцію. Все це гостро ставить питання про оперативне реагування виробництва на зміну споживчого попиту, що вимагає розробку методів забезпечення швидкої перебудови і адаптації ВС для виконання чергових проектів. Причому виконання таких проектів повинне передбачати виготовлення деталей широкої номенклатури різної кількості.

Появу ринку проектних послуг конструкторських бюро висуває вимога формування ВС, здатних реалізувати проекти, що розробляються, в короткі терміни при забезпеченні заданих параметрів. Час життєвого циклу проектів може бути достатнє малим, тому проводити фізичну перебудову існуючих ВС для їх реалізації виявляється неможливим. Крім того, при реалізації декількох проектів, а у багатьох випадках навіть одного, потрібне одночасне виготовлення деякої кількості деталей різної номенклатури. Тут доводиться говорити про багато об'єктне проектування і виготовлення, при цьому формована ВС є об'єктно-орієнтованою.

Формування ВС для цих цілей традиційними методами, пов'язаними з матеріальними перебудовами існуючих ПС, виявляється неможливим. Виникає необхідність в пошуку нових підходів до процесів формування ВС з необхідними властивостями без здійснення трудомістких матеріальних перебудов.

Вирішенням даної проблеми є забезпечення можливості створення ВС на базі тих, що існують, шляхом проведення заходів, що використовують тимчасові (на період життєвого циклу проекту) організаційні зв'язки, без трудомістких матеріальних перебудов. Матеріальною основою такої ВС є сукупність технологічного обладнання РВС в рамках фонду їх вільного часу. З причини того що при побудові такої ВС відсутні матеріальні зміни в РВС, а інформація про її структуру формується і зберігається тільки в пам'яті ЕОМ, то така ВС є віртуальною, при цьому забезпечується значне скорочення термінів її створення.

Конкуренція, що росте, на сучасному світовому ринку товарів і послуг примушує виробників піклуватися про конкурентноздатності своєї продукції. Крім традиційних способів її підвищення, таких, як зниження вартості; підвищення якості, надійності і ефективності; розширення функціональних можливостей, все великої актуальності почали набувати наступні:

- зниження витрат на експлуатацію, ремонт і утилізацію;
- забезпечення простоти і зручності експлуатації і обслуговування;
- швидкість реакції на потребі ринку;
- доступність актуальної документації і простота її обробки;
- зниження тимчасових і матеріальних витрат на навчання персоналу по експлуатації.

Сучасний рівень розвитку комп'ютерної техніки, інформаційних технологій і розробки програмного забезпечення (САПР різних наочних областей, АСОБІ, ІАСУ і так далі) дозволяє комп'ютеризувати практично будь-який вид діяльності людини, пов'язаний з обробкою інформації. Ці проблеми вирішувалися об'єднанням різних САПР в інтегровані системи за рахунок фізичного об'єднання баз даних, проте при цьому повністю була відсутня прив'язка їх логічних структур, що приводило до фрагментації інформації; багатократному дублюванню даних; несумісності різних уявлень про один і той же виріб; неможливості інтеграції різних ІАСУ.

Вказані проблеми можна вирішити за рахунок:

- узгоджень інформаційних уявлень про вироби і процеси;
- організації активного об
- узгодженою інформацією про вироби і процеси між діловими партнерами;
- вичерпного аналізу всіх чинників, що впливають на конкурентоспроможність виробів в сучасному уявленні.

Всі ці підходи були об'єднані в рамках концепції CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support — Підтримка Життєвого Циклу Виробів).

У системі CALS-технологій (Computer Acquisition and Life-Cycle Support) створюються CALS-стандарти. Дані стандарти необхідно розглядати відповідно до наступних документів:

- існуючими стандартами РФ, ISO і IES, які можна використовувати без змін;
- існуючими документами, які можна використовувати для часткового виконання вимог CALS;
- стандартами, які в даний час знаходяться на стадії розробки в Держстандарті РФ, ISO, IES;
- технічними завданнями по розробці стандартів для організацій, здатних їх реалізувати, в областях, де в даний час не ведуться роботи по стандартизації.

Під CALS-технологією розуміють комп'ютеризацію сфер промислового виробництва. Основним її завданням є уніфікація і стандартизація специфікацій промислової продукції на всіх етапах її життєвого циклу.

Розширення областей впровадження CALS стандартів тісно пов'язане з можливостями інформаційних технологій, що стрімко змінюються. Вони вимагають від організацій динамічного і гнучкого процесу, що включає:

- широке узгодження промислових /комерційних вимог;
- затвердження результатів цього узгодження;
- активне залучення постачальників інструментальних засобів CALS.

Розвиток CALS-технологій повинен привести до появи так званих віртуальних виробництв, при яких створення технологічного забезпечення обладнання з ЧПУ для виготовлення виробів може бути розподілено в часі і

просторі між багатьма проектними організаціями і промисловими підприємствами.

Побудова відкритих розподілених автоматизованих систем для проектування і управління в машинобудуванні складає основу сучасної CALS-технології. При цьому структура проектної, технологічної і експлуатаційної документації, мови її уявлення повинні бути стандартними. В цьому випадку реальною стає успішна робота під загальним проектом різних колективів, що використовують неоднакові CAD/CAM. Таким чином, інформаційна інтеграція є невід'ємною властивістю CALS-систем.

Конкретні завдання в області стандартизації повинні базуватися на архітектурі стандартів, що охоплюють діапазон бізнес - процесів впродовж всього ланцюжка «постачальник - замовник» і всього життєвого циклу виробу, а також різних поглядів на спільно використовувану інформацію, необхідну для підтримки кожного з цих процесів.

Дані завдання повинні бути сформульовані з обліком:

- єдиного розуміння даних і взаємозв'язків, спільно використовуваних впродовж життєвого циклу, включаючи процеси управління конфігурацією виробу;
- управління даними про виріб впродовж всього життєвого циклу, включаючи опис вимог;
- витягання і передачі інформаційних продуктів;
- вимог по підтримці проведення і управління бізнес-процесами, включаючи комерційні трансакції і управління проектами.

На рис. 5.16 приведена структурна схема проблематики CALS-технології в світлі вищесказаного. У основу CALS технології покладений ряд стандартів (див. рис. 5.1) і перш за все: STEP (Standard for Exchange of Productdata), SGML (Standard Generalized Markup Language), P_LIB (Parts Library).

CALS-технологія інтегрується з CAE/CAD/CAM, в область перетину цих систем потрапляє PDM (Product Data Manager).

CALS-технологія на вході пов'язана із замовленнями, а на виході — з готовою продукцією з урахуванням проходження всього життєвого циклу (див. рис. 5.16).

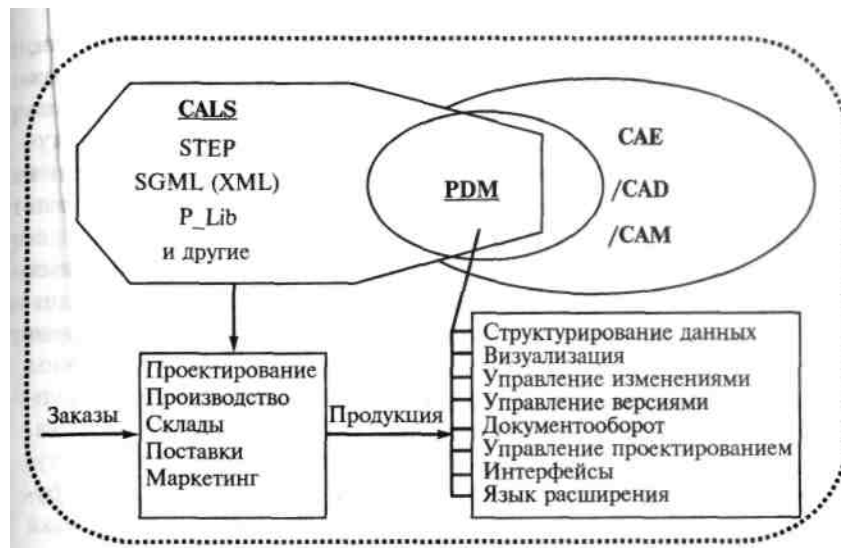


Рис. 5.16. Структурна схема проблематики CALS технології

CALS-технологія дозволяє істотно скоротити об'єми проектних робіт, оскільки опису багатьох складових частин обладнання, машин і систем, що проектувалися раніше, зберігаються в БД мережених серверів, доступних будь-якому користувачеві технології CALS. Ці технології забезпечують легкість розповсюдження передових проектних рішень, можливість багатократного відтворення частин проекту в нових розробках і ін. Інформацію про параметри РПС можна представити в електронному вигляді і поширювати за допомогою різних інформаційних мереж, зокрема глобальній мережі Internet. В цьому випадку можна говорити про формування ринку послуг PBC.

При створенні ВВС на основі PBC необхідно вирішити ряд завдань, пов'язаних з її організацією і управлінням. Організація ВВС безпосередньо пов'язана з технологічним змістом проектів, що реалізуються. В зв'язку з цим виявляється можливим вибір кращою, в рамках поточних можливостей PBC, конфігурації ВВС шляхом варіювання структурами проєктованих ТП. Отже, процеси організації ВВС і технологічного проєктування виявляються взаємозв'язаними, тобто має місце прямий і зворотний зв'язки інформаційних потоків, супроводжуючих ці процеси. Формування інформаційних потоків, ухвалення на їх основі рішень, здійснення процесів управління є складними процесами, які повинні протікати за мінімальний час, що вимагає розробки системи управління, що функціонує переважно без участі людини. Для таких умов найбільш ефективними виявляються інтелектуальні системи управління, які приймають на себе завдання рутинного характеру, а також деякі творчі функції людини при вирішенні завдань в умовах реального масштабу часу.

Основними завданнями, що вирішуються при формуванні ВВС, є технологічне і організаційне управління. Метою технологічного управління є набуття необхідних властивостей виробів. Мету організаційного управління можна сформулювати як синхронізацію під час взаємодії всіх вільних ресурсів PBC між собою, а також PBC із зовнішнім середовищем.

Особливістю технологічного управління є генерування і вибір раціональних ТП, що дозволяють при забезпеченні заданих параметрів отримуваних виробів максимально використовувати можливість РВС в рамках ВВС. Тут особливу роль грають процедури проектування ТП. При технологічному проектуванні вирішують завдання по всіх етапах ТП — від отримання заготовки до приймання зібраних виробів, але особлива увага приділяється етапам механічної обробки заготовок, оскільки ці процеси найбільш відповідальні з погляду якості створюваних машин і трудомісткі (на них доводиться 60-80% всій трудомісткості виготовлення виробів). У зв'язку з цим вони є визначальний у всьому циклі виробництва машин.

Складність ТП і відповідальність схвалюваних при їх проектуванні рішень обумовлює необхідність застосування методів і засобів САПР. При автоматизації проектування ТП необхідно враховувати характер і взаємозв'язки чинників, що впливають на їх побудову і визначають задану якість виробів, що виготовляються, і економічну ефективність.

Проектування ТП включає ряд ієрархічних рівнів: розробку принципової схеми ТП, представляючи послідовність етапів укрупнених операцій; проектування технологічних маршрутів обробки деталей; проектування технологічних операцій; розробку програм, що управляють, для обладнання з ЧПУ.

Процеси оперативного і технологічного управліннь є взаємозв'язаними, що повинне бути враховане при реалізації розроблених проектів. В умовах ВВС процеси проектування ТП, їх реалізація і управління можуть бути забезпечені тільки за наявності могутніх засобів обчислювальної техніки, що використовують бази даних і знань і складових основу інформаційного забезпечення інтелектуальної системи.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає математичне моделювання?
2. Які вимоги пред'являють до ММ?
3. По яких ознаках класифікуються ММ?
4. У чому полягає суть структурних ММ?
5. Чим характеризуються табличні, мережені і переставні ММ?
6. Для яких цілей призначені функціональні ММ?
7. Перерахуйте основні характеристики ММ на різних ієрархічних рівнях.
8. У чому полягають особливості аналітичних, алгоритмічних і імітаційних моделей?
9. У чому полягає методика отримання ММ?
10. Для чого необхідні перетворення ММ в процесі отримання робочих програм аналізу?
11. Назвіть особливості ММ на мікрорівні.
12. Назвіть особливості ММ на макрорівні.

13. Назвіть особливості ММ на метарівні.
14. У чому полягає використання ММ на мікрорівні?
15. У чому полягає використання ММ на макрорівні?
16. Які ММ на метарівні можна описати шляхом використання числового програмування?
17. У чому полягають марківські випадкові процеси?
18. Приведіть рівняння Колмогорова фінальної вірогідності станів об'єкту?
19. Опишіть СМО.
20. Які параметри ефективності потрібно визначити при використанні СМО?
21. Які особливості виникають при використанні мереж Петрі?
22. У чому полягає побудова графа досяжності для мережі Петрі?
23. У чому полягає імітаційне моделювання?
24. Як перевіряється детермінована ММ на чутливість до випадкових відхилень?
25. Які переваги дає інтеграція підсистем?
26. У чому полягає розвиток комп'ютерних технологій?

Лекція №6

Тема лекції: «УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ І ПРОЦЕСАМИ»

План лекції

6.1. Основні поняття пов'язані із системами керування, їх класифікації

6.2. Виконавчі механізми систем управління

6.3. Вимірювальні пристрої, датчики зворотного зв'язку

6.4. Структурні схеми систем керування

6.5. Розвиток систем керування

Конспект лекції

6.1. Основні поняття пов'язані із системами керування, їх класифікації

Під технологічними об'єктами (ТО) в машинобудуванні розуміють технологічне обладнання (верстати, роботи і т. д.), що забезпечує виконання тих або інших ТП. Сучасні ТИМ є комплекс складних динамічних систем. Їх складність обумовлена високими вимогами до продуктивності і точності роботи ТЕ. Управління процесами і об'єктами в машинобудуванні здійснюється за допомогою систем управління.

Під управлінням розумітимемо процес перекладу ТЕ з одного стану (початкове) в інше (кінцеве) за конкретний проміжок часу Δt з витратою заданого об'єму ресурсів.

Система управління (СУ) — комплекс пристроїв і засобів зв'язку, що забезпечує точну і узгоджену в часі взаємодію робочих і допоміжних агрегатів і пристроїв ТЕ відповідно до заздалегідь розробленої програми управління на основі прийнятого ТП.

Системи ЧПУ дозволяють всі операції, пов'язані з пуском, зупинкою, включенням і виключенням допоміжних пристроїв, а також операції по забезпеченню необхідних значень параметрів (величин), що визначають хід ТП в керованому об'єкті, виконувати без участі обслуговуючого персоналу, тільки пристроями автоматичного управління.

Слідкуючими системами називаються СК, за допомогою яких на керованому об'єкті відтворюється зміна вхідної величини довільно заданою в часі і, як правило, з посиленням по потужності.

Програма—спосіб досягнення мети з однозначним описом процедури його реалізації. Програма функціонування ТО — сукупність команд, які повинен виконувати ТО.

Роздільна здатність СУ — найменша зміна вихідного параметра стану ТЕ, яке може бути задане і зареєстроване її вимірювальною системою.

Дискрета — мінімальна теоретична величина реакції ТО на одиничну зміну сигналу, що управляє.

Основне призначення системи управління ТО — виконання команд для підтримки необхідних значень параметрів виконуваного ТП при заданій точності з найбільшою продуктивністю.

Вибір СУ багато в чому залежить від специфіки ТП, в якому експлуатується ТО, і від вимог економіки.

Система автоматичного управління ТО повинна виконувати наступні завдання:

- реалізовувати необхідні дії виконавчих механізмів;
- забезпечувати задані режими ТП;
- підтримувати необхідні параметри об'єкту виробництва;
- виконувати допоміжні команди.

Основні вимоги до систем автоматичного управління: управління складним циклом функціонування ТЕ; висока мобільність; точність при високій надійності в роботі; простота конструкції і низька вартість; дистанційність в управлінні; можливість саморегулювання в процесі управління.

Команди, що задаються ТЕ в системах програмного управління, ділять на три категорії.

1. Технологічні команди, що забезпечують необхідні дії робочих органів ТО при виконанні ТП.

2. Циклові команди, до яких відносять зміни параметрів ТО (наприклад, перемикання швидкості і подач, вибір інструменту, виключення охолодження, реверс і т. д.).

3. Команди на виконання службової або логічної інформації, що забезпечують правильність виконання ТО всіх команд, що задаються йому (позначення адрес, знаки розділення команд, контрольні числа). Ці команди залежать від прийнятої системи їх кодування.

За командною інформацією СУ класифікують таким чином.

1. Системи управління, що працюють на основі повної початкової інформації: СУ з розподільним валом; копіювальні СУ; циклові СУ; системи з ЧПУ (СПЧУ).

2. Системи управління, що працюють на основі неповної початкової інформації: екстремальні системи (забезпечують оптимальне управління шляхом зміни дії, що управляє); самоналагоджувальні СУ (забезпечують оптимальне управління шляхом зміни Параметрів системи і дій, що управляють); СУ, що організується сам (забезпечують оптимальне управління шляхом зміни її структури, параметрів і дій, що управляє); самонавчальні СУ (забезпечують оптимальне управління шляхом зміни алгоритму управління або параметра дії, що управляє).

Системи управління верстатами розділяють на централізованих, децентралізованні і змішані.

Централізовані (незалежні) СУ управління характеризуються тим, що управління всім технологічним циклом верстата-автомата і АЛ здійснюється з центрального командного пункту ТО незалежно від Дії і положення його

виконавських робочих органів. Завдяки простоті схеми управління, надійності в роботі, зручності обслуговування і наладки централізовані СУ отримали найбільше застосування у верстатах.

Децентралізовані СУ (їх називають іноді путніми) здійснюють управління за допомогою датчиків (найчастіше путніх перемикачів і кінцевих вимикачів), що включаються на шляху рухомих виконавських органів ТО. Ці системи засновані на управлінні, при якому всі виконавські органи зв'язані між собою так, що кожне подальший рух один може відбуватися тільки після закінчення руху попереднім. Перевагою таких СУ є відсутність складного блокування, оскільки команди даються після закінчення попередньої операції.

Змішані СУ є комбінацією перших двох систем. Тут управління деякими елементами циклу здійснюється як в децентралізованій системі, а остальними—от центрального командного пристрою.

Системи управління, вживані в ТО, вельми різноманітні як по своєму призначенню, так і по конструктивному оформленню. Проте в будь-якому ТО можна виділити дві основні частини: пристрій, що управляє, і керовані узлы—агрегати або інші робочі органи, що виконують заданий ТП.

Технологічний процес характеризується декількома параметрами (подача, швидкість, зусилля, температура і т. д.), які для правильного ходу його виконання підтримуються постійними або змінюються по певному закону. Пристрій, що управляє, впливає на робочий орган верстата відповідно до програми управління.

При традиційних методах автоматизації весь об'єм інформації, необхідний для виготовлення деталей, відтворюється в куркульках, копирах, шаблонах, упорах і інших пристроях, за допомогою яких ця формація потім передається ТО як програма обробки даної деталі. Подібний спосіб ускладнює підготовку і завдання програми обробки. Такі СУ не можуть забезпечити високої гнучкості і пере налагоджування обладнання на виготовлення нової деталі. Поява СЧПУ дозволила корінним чином вирішити цю задачу.

У ТО з цифровим програмним управлінням на всіх етапах підготовки програми обробки, аж до її завдання ТО, оперують тільки інформацією в цифровій (дискретною) формі з робочого креслення деталі. Це дозволяє застосовувати математичні методи для підготовки програм і автоматизувати весь процес їх виготовлення за допомогою ЕОМ.

У металообробці серед автоматичних систем управління широко поширені так звані аналогові системи, в яких як програмоносії використовують аналози, що визначають переміщення виконавчих пристроїв верстатів (копири, куркульки, упори). Початкова інформація про процес відрітку перетворюється і видається у вигляді копійованої моделі оброблюваної деталі. Наприклад, на токарному верстаті упори, розставлені по ходу руху, можуть служити аналогом переміщень поздовжнього і поперечного супортів. Подібні системи називаються замкнутими, оскільки в них використовують два потоки інформації: перший потік інформації — положення кінцевого

вимикача (програма), другий — фактичне положення виконавчого механізму.

У незамкнутій СУ у формоутворенні деталі використовується кулачок з профілем, відповідним запрограмованій обробці. В цьому випадку аналогом переміщення виконавчого пристрою є профіль кулачка.

Копіювальні системи управління використовують як програмоносій копир (або шаблон) і підрозділяються на копіювальні системи прямої і непрямої дії.

На рис. 6.1 представлена схема такою, що копіює СУ прямої дії. Гідністю такої системи є простота конструкції, а недоліком — швидкий знос штовхача і шаблону (копія) від сили різання, що знижує точність обробки і вимагає виготовлення декількох шаблонів на малу партію деталей, що виготовляються, з важкооброблюваного матеріалу матеріалу.

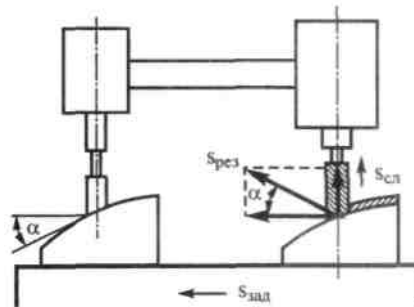


Рис. 6.1. Копіювальна система прямої дії

Копіювальні СУ непрямої дії забезпечують зниження величини сили, що діє на шаблон (копир), за рахунок застосування відповідних підсилювачів, наприклад гідропідсилювача (рис. 6.2). Система має зворотний зв'язок, який відстежує положення штока золотника і прагне звести помилку стеження до мінімуму. При всій складності така система має велику гідність — вищу точність обробки і достатньо великий термін служби шаблону. Величина зазору Δ в золотнику є змінною і визначається поточною швидкістю зсуву його штока.

Особливістю аналогових систем управління ТО є такий вид програмоносія, при якому програма обробки фактично матеріалізується. Використання аналогового програмоносія забезпечує необмежені людиною можливості зростання продуктивності обробки, але при цьому скорочує можливість швидкого переналагодження обладнання.

Розвиток аналогових систем управління в напрямі, при якому став можливим введення і зміна інформації безпосередньо на робочому місці, привело до створення СЧПУ (рис. 6.3). У таких системах програма є інформацією, що кодується певним чином і що носить знаковий вигляд.

До позиційних систем програмного управління (СПУ) відносять системи, в яких траєкторія і швидкість руху не програмуються, а задаються тільки початкове і кінцеве положення керованого органу верстата. Ці системи служать тільки для здійснення настановних рухів. У них траєкторія переміщення робочого органу може бути довільною. Вимоги по точності пред'являють тільки до кінцевого положення робочого органу (координатно-розточувальні верстати, свердлувальні, штовхачі в транспортних системах і т. д.).

До контурних СПУ відносять системи, в яких здійснюється безперервне управління рухом два або більш виконавських органів верстата, що забезпечує можливість обробки криволінійних контурів або поверхонь. У цих СУ вимоги по точності пред'являються до траєкторії переміщення робочого органу і до поточного положення його в кожен момент часу.



Рис. 6.3. Структура системи ЧПК

У ТО з програмним управлінням використовують три фундаментальні принципи автоматичного управління—принцип розімкненого управління, зворотного зв'язку і компенсації.

Принцип розімкненого управління найбільш простий в реалізації, оскільки не вимагає додаткових пристроїв. Структурна схема СУ, що реалізує цей принцип, представлена на рис. 6.4. Задаток програм (ЗП) задає необхідну інформацію блоку пристрою управління (БУУ), який управляє виконавчим пристроєм (ІУ). Необхідно, щоб вихідна інформація $H(t)$ була максимально близька до заданої $G(t)$, що в реальних умовах ускладнюється цілим рядом таких чинників, як неточність виконання окремих пристроїв і механізмів, обурюючих дій і ін. Дію цих чинників можна виразити деякою функцією $f(t)$.

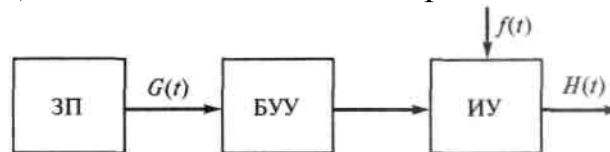


Рис. 6.4. Структурна схема розімкнутої системи управління

Якщо необхідний ступінь відповідності вихідній і вхідній інформації не досягається при використанні даної схеми побудови СУ, то застосовують інші принципи управління. Реалізація цих принципів передбачає введення зворотного зв'язку в схему управління.

Структурна схема замкнутою СУ представлена на рис. 6.5. Із задатчика програми (ЗП) інформація поступає в блок порівняння інформації (БПІ), потім в блок управління пристроєм (БУП), який управляє виконавчим пристроєм (ВП). Далі датчик в сукупності з пристроєм перетворення інформації перетворить фактичну дію ВП в інформацію, що має вигляд, зручний для порівняння з інформацією, що поступає в БПІ від задатчика програми. Це дозволяє автоматично контролювати точність відробітку заданої програми. Велике значення в ланцюзі зворотного зв'язку має датчик зворотного зв'язку (Д), який служить для перетворення вихідної інформації в сигнали, відповідні по своїй фізичній природі сигналам із ЗП. Таким чином, датчик є вимірювальним перетворювачем (перетворить зміну однієї фізичної величини в зміну іншої).

Принцип компенсації (комбіноване управління) дозволяє зменшити або виключити зовсім наслідки впливу шкідливих чинників (деформація технологічної системи під дією температурних чинників, сил різання і т. д.), що впливають на ТО.

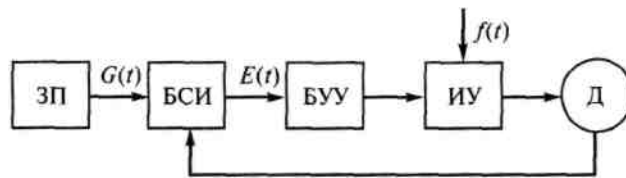


Рис. 6.5. Структурна схема замкненої системи управління

Як видно з схеми, представленої на рис. 6.5, наявність розузгодження є необхідною умовою зміни стану виконавчого пристрою ТО. Проте наявність розузгодження у багатьох випадках приводить до погрешностей відробітку командної інформації і, як наслідок, до браку при виконанні ТП. При малих швидкостях зміни дії, що управляє, погрешність відносно невелика, і нею можна нехтувати. У тих же випадках, коли ця зміна має велику величину або управління здійснюється по декількох координатах, погрешність істотно зростає. Найбільш простий спосіб зменшення помилки—зниження швидкості зміни інформації, що управляє. В цьому випадку значно менше позначаються динамічні помилки і погрешність також зменшується. Проте застосування такого способу подовжує робочий цикл, що призводить до зниження продуктивності ТО.

6.2. Виконавчі механізми систем управління

При проектуванні систем управління ТО велике значення має вибір приводів головного руху. Призначення приводів головного руху подачі в ТО з системою програмного управління полягає в тому, щоб забезпечити виконання ТП з максимальною продуктивністю при заданих значеннях точності і якості.

Точність слідкуючої системи визначає здатність системи забезпечувати необхідні умови роботи в різних режимах поза залежністю σ_T зміни зовнішніх обурюючих чинників. Точність слідкуючих систем характеризується динамічною і статичною помилками.

Динамічна помилка — різниця між заданим і поточним значеннями відтворної величини в період відробітку інформації, що управляє, робочими органами ТО.

Найбільше значення для СУ мають динамічні помилки, що виникають при раптовій зміні швидкості вхідного сигналу, наприклад, від нуля до максимуму (або, навпаки) за достатньо малий час, порівняний з часом перехідних процесів в СУ. Це відбувається, наприклад, при обробці контуру у вигляді кута або дуги кола малого радіусу.

Точність відтворення заданої програми уздовж кожної з координат залежить як від заданої програми (вхідній функції), так і від статичних і динамічних характеристик слідкуючого приводу, зокрема від коефіцієнтів посилення і швидкодії.

Статична помилка — різниця між значенням вихідного параметра (отриманого в результаті виконання заданої програми) і значенням вхідного (заданого за програмою) параметра в сталому режимі. Вона визначає точність слідкуючих приводів координатних верстатів, є однією з складових погрешності обробки плоских контурів і при об'ємній обробці. Статична помилка складається з декількох складових, основні з яких:

1. помилка датчика положення;
2. помилка, пов'язана з наявністю люфтів в кінематичному ланцюзі між датчиком положення і керованим органом верстата (ріжучий інструмент, заготовка і т. д.);
3. помилка, викликана дрейфом нуля підсилювального каналу;
4. помилка, обумовлена не лінійністю підсилювальних елементів СУ;
5. помилка, викликана дією статичного моменту навантаження при дотику (зусилля тертя в тих, що направляють, зусилля різання).

Статична погрішність СУ визначає погрішність багатократної установки координати керованого об'єкту в яку-небудь крапку, тобто по суті справи вона визначає стабільність її функціонування. Ця помилка складається із зони нечутливості СУ, дрейфу нуля на виході перетворювачів і так далі

В даний час застосовують в основному два види приводів: на основі слідкуючих систем (як правило, використовують високомоментні двигуни) і на основі крокових двигунів (КД).

Крокові приводи подач є простим варіантом виконавчого приводу подач. Їх основні показники наступні:

- смуга пропускання—максимальна частота командних імпульсів, що відпрацьовуються в сталому режимі на неодруженому ході;
- приємність—найбільша частота проходження командних імпульсів, при якій можливі раптовий пуск і зупинок КД без втрати кроку. Приємність і смуга пропускання характеризують швидкодію приводу і, отже, продуктивність технологічного обладнання.

Крокові двигуни виготовляють двох видів: малопотужні для використання як серводвигателів і силові для безпосереднього приводу виконавчого вузла без підсилювача моменту, що крутить. Принцип дії ШД нагадує роботу поворотного електромагніту. Магнітопроводящий ротор з полюсами прагне обернутися так, щоб його полюси опинилися в положенні найбільшої провідності магнітного потоку, утвореного електричним струмом, що проходить через одну з трьох обмоток секцій статора (рис. 6.8). Секції статора мають аналогічні ротору полюси, проте ці секції розташовані таким чином, що якщо полюси однією з них співпадають з полюсами ротора, у двох інших вони зміщені на $\pm 1/3$ кроку полюсів.

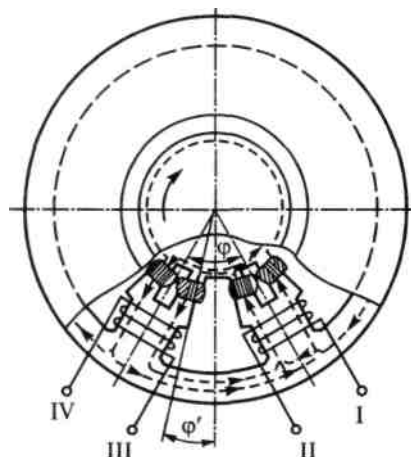


Рис.6.8 Будова крокового двигуна

Кроковий двигун забезпечує кут повороту ротора, що строго витримується, при підводі до його обмоткам постійної напруги. Подавати напругу до різних обмоткам (секціям) статора необхідно в певній послідовності, залежній від необхідного напрямку повороту ротора двигуна. Частота що подаються на КД імпульсів змінює кутову швидкість обертання ротора, і при великій частоті спостерігається його безперервне обертання (необхідно пам'ятати, що КД можна використовувати в розімкнених системах лише в межах їх роздільної здатності, якщо не забезпечувати систему спеціальними пристроями плавного розгону і гальмування). Роздільною здатністю КД (частотою приємності або приємністю) називають миттєвий перепад частот, що відпрацьовується двигуном без пропуску хоч би одного імпульсу. Роздільна здатність різних типів вітчизняних КД досягає 2000 Гц. При плавному розгоні двигуни можуть працювати на вищих частотах, наприклад до 20 000 Гц. Кроковий двигун характеризується динамічним моментом, який має значення відповідно роздільній здатності, досягаючи 0,1 Н-м для КД, використовуваних як серводвигателів, і десятків і навіть сотень для силових КД. Крок на вихідному валу частіше виконують в $1,5^\circ$, але він може бути рівний $0,5-10^\circ$. Помилка в кроці залежно від навантаження може скласти 20 % величини кроку, але при роботі двигуна вона не накопичується. Реверсування КД досягається зміною послідовності підключення обмоток статора.

Високомоментні двигуни мають збудження від постійних магнітів і тому менше нагріваються в порівнянні із звичайними. Їх виготовляють з вбудованим тахогенератором і, за бажанням споживача, датчиком шляху і гальмом. Вони мають малу масу і об'єм. Такі двигуни дозволяють відмовитися від використання механічних редукторів, їх можна безпосередньо сполучати, наприклад, з кульковим ходовим гвинтом виконавчого вузла. У поєднанні з ланцюгом адаптивного регулювання частоти обертання за допомогою перетворювача тиристора частота зберігається постійною і при 1 об/хв. Таким чином, динамічні характеристики двигунів дозволяють забезпечувати високу точність оброблених деталей. Прискорений хід виконавчого вузла скорочує допоміжний час при обробці.

Необхідно відзначити, що мало інерційні двигуни вимагають спеціального динамічного узгодження з механічною системою верстата. Якщо власна частота двигуна і частота механічної системи верстата будуть соизмеримы, це може привести до втрати стійкості всієї системи електромеханічного приводу. З цього виходить, що раціональніший шлях підвищення швидкодії двигуна пов'язаний із збільшенням динамічного моменту при незмінному моменті інерції якоря машини. Двигуни подібного типу отримали назву високомоментних. Конструктивна особливість таких двигунів (збудження від постійних магнітів) дозволяє відмовитися від електромагнітного збудження, що виключає втрати на нагрів обмотки збудження, на 10...15 % збільшує ККД і зменшує розміри двигуна. Застосування постійних магнітів дозволяє побудувати багатополісну машину постійного струму, що спрощує комутацію і що забезпечує

рівномірний розподіл магнітної індукції в зазорі. Двигуни забезпечують рівномірне обертання при частотах до 0,1 об/хв. Електромагнітний момент двигуна постійного струму залежить від величини магнітного потоку і струму якоря.

Для створення високого динамічного моменту необхідно, щоб при всіх значеннях струму якоря I_a магнітний потік залишався постійним. У машинах постійного струму з електромагнітним збудженням магнітний потік зменшується унаслідок розмагнічуючої дії реакції якоря. Двигуни з постійними магнітами мають стабільніший магнітний потік, але і вони можуть бути розмагнічені при протіканні по якорю великих струмів. Щоб уникнути цього сила постійного магніту, що намагнічує, повинна бути достатньо велика.

Всі ці обставини визначають конструкцію магнітної системи високомоментних двигунів. Магніти із сплаву альніко мають велику довжину по осі намагнічена. Високе значення індукції дозволяє отримати достатній магнітний потік при малому перетині магніту. Такі магніти розташовують тангенціально по відношенню до кола якоря і забезпечують їх полюсними наконечниками з магніту м'якого матеріалу. Феритові магніти, навпаки, мають дуже малу довжину, оскільки вони створюють високу напруженість поля і мають велику площу перетину. Вони самі утворюють полюси магнітної системи. Низька вартість феритових магнітів і дуже проста конструкція двигуна забезпечили їх широке розповсюдження. Створені високо енергетичні магнітні матеріали на основі рідко земельних елементів. Найбільш перспективні самарій кобальтові ферити. Питома енергія їх приблизно в 3-4 рази вище, ніж у сплавів альніко.

Крім того, для створення високомоментних двигунів необхідно поліпшити умови комутації. Цього можна добитися, якщо зменшити ЕДС коментованій секції шляхом збільшення числа пластин колектора. Застосовують також спеціальні контактні щітки, велика щільність струму. Всі ці заходи забезпечують 6...10-кратне перевантаження по моменту при низьких частотах обертання протягом 20...30 хв. Це забезпечується наявністю масивного якоря і великою тепловою інерційністю двигуна. При підвищенні частоти обертання комутація двигуна погіршується і перевантажувальна здатність знижується.

Високомоментні двигуни відносно тихохідні. Номінальна частота обертання складає зазвичай 1000 об/хв. (її можна підвищити до 2000 об/хв. за рахунок короткочасної формировки напруга якоря). Ці двигуни не потребують проміжного редуктора і їх встановлюють безпосередньо на ходовий гвинт механізму подачі верстата.

6.3. Вимірювальні пристрої, датчики зворотного зв'язку

У системах управління ТО для отримання необхідної інформації про параметри протікаючого ТП використовують різні датчики.

Розрізняють датчики переміщення, положення, швидкості, прискорення і так далі. За способом перетворення інформації датчики підрозділяють на контактні і безконтактні; за принципом дії - на тензометричні, ємнісні, фотоелектричні, індуктивні і ін.).

Датчик є вимірювальним приладом. Дискретність (ціна одного імпульсу) залежить як від самого датчика, так і від пристроїв, з якими він пов'язаний. Точність датчика визначається конструктивними особливостями самого датчика, структури електронної схеми перетворювача його сигналу, її перешкодозахисної і ін.

При створенні перетворювачів сигналу датчика використовується велика кількість різних рішень схемотехніки. Разом з тим, як показує практика останніх років, найбільший внесок в розвиток цифрових перетворювачів переміщень (ЦПП) вносить мікроелектроніка, застосування якої дозволяє кардинально вирішити проблему технологічності, забезпечивши максимальне спрощення, як правило, прецизійних механічних вузлів. Тому сучасний ЦПП складається з щодо простого, наскільки це можливо для забезпечення заданій точності, електромеханічного первинного перетворювача, що безпосередньо сприймає вимірюване переміщення, і вторинного перетворювача — електронного вузла, оброблювального отриману інформацію і що представляє її в цифровій формі.

Основними характеристиками датчика є наступні параметри: чутливість датчика — відношення зміни ΔY вихідного сигналу до зміни ΔX контрольованої величини

$$\varepsilon = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

і роздільна здатність датчика—найменша величина контрольованого параметра, що фіксується датчиком.

В даний час широкого поширення набули фотоелектричні перетворювачі, в яких використаний принцип модуляції світлового потоку за допомогою растрового сполучення. Залежно від величини розташування в просторі лінійки і діафрагми растрове сполучення може бути ноніусним, або муаровим.

Оптична форма представлення інформації сигналу найбільш зручна для відображення величини кута повороту валу, оскільки знімання інформації не навантажує вал яким-небудь моментом, а точність елементів оптичних перетворювачів може бути досягнута вельми високою. Цифрова форма представлення інформації гарантує високу точність і перешкодостійкість.

Робота фотоелектричної частини формувачів (перетворювачів) заснована на використанні явища фотоефекту, що виникає при попаданні світлового потоку, що пройшов через прозорі ділянки кодових шкал, на фотоелементи, що перетворюють зміну світлового потоку у фотострум, службовець початковим електричним сигналом для подальших схем. Такі перетворювачі набули широкого поширення, оскільки при відносно невеликих розмірах дозволяють добитися високої точності перетворення інформації. Якщо на диск нанесена маска, відповідна одному з кодів, вживаних для підвищення

перешкодостійкості і надійності зчитування, то в схемі передбачають декодуєчий пристрій, що перетворює цей код в звичайний, двійковий код.

Кодуючі диски фотоелектричних перетворювачів виконують з оптичного скла, на яке фотохімічним способом наносять маску у вигляді концентричних доріжок з прозорими і непрозорими для світлового випромінювання ділянками.

При кодуванні лінійного переміщення використовують широко вживані в оптиці дифракційні ґрати, що вирішує здатність яких в даний час досягає 1000 штрихів на 1 мм і вище.

Пристрій фотоелектричного перетворювача переміщень представлений на рис. 6.12. Лінійка 2 є нерухомим елементом датчика і жорстко пов'язана з нерухомим елементом верстата. Джерело світла 1, діафрагма 3 і блок фотоелементів 4 жорстко зв'язані між собою і утворюють рухому частину датчика, встановлену на рухомому елементі верстата з ЧПУ, переміщення якого контролюється. На лінійці рівномірно нанесені штрихи, створюючи непрозорі і прозорі для світла зони, через які світло вільно проходить. Паралельно лінійці розташована діафрагма з чотирма групами рисок, що мають такі ж геометричні параметри, як і на лінійці, але по фазі кожна група має зрушення щодо один одного, рівний $\lambda/2$. Проти кожної групи елементів розташований фотоелемент. Таким чином, якщо перший фотоелемент максимально освітлений (ризика лінійки співпадають з ризиками шторки), то третій буде повністю затемнений (прозорі області лінійки співпадають з непрозорими областями шторки) унаслідок зрушення третьої групи рисок щодо першої на фазу λ ($t\epsilon/2 + \lambda/2$).

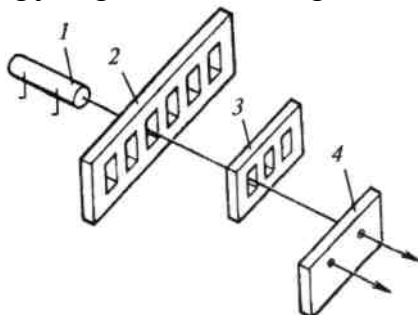


Рис. 6.12. Схема фотоелектричного перетворювача

При рівномірному переміщенні діафрагми вихідна напруга фотоелементів мінятиметься таким чином. Сигнали з фотоелементів підсумовуються попарно, і $t/3$; U_2 і $C/4$. Ця операція дозволяє уникнути впливу зміни яскравості джерела світла на постійну складову сигналу. При синхронній зміні освітленості фотоелементів міняється тільки амплітуда пилкоподібної напруги. При цьому постійний струм фотоелементів (залишковий або темний струм) компенсуються.

6.4. Структурні схеми систем керування

При розробці автоматичних СУ ТО перш за все ставиться завдання — система повинна виконувати функціональне призначення, визначуване метою управління. Іноді ставлять складніше завдання — розробити СУ з

якнайкращими показниками якості. Для їх розробки застосовують принцип оптимальності, що дозволяє забезпечити якнайкраще виконання мети управління.

Автоматичну систему управління, що забезпечує якнайкращі технічні або техніко-економічні показники якості за заданих умов роботи і обмежень, називають оптимальною. Оцінку Досяжності мети в процесі управління ТО, представлену у формалізованому вигляді (аналітичній формі), прийнято називати критерієм оптимальності, або цільовою функцією. Розробка якнайкращої СУ, що задовольняє поставленим вимогам, є завданням синтезу оптимальної системи.

Можливі два основні типи завдань синтезу оптимальних СУ ТО. У завданнях першого типу відома структура СУ ТО (передавальні функції регулятора $K_v(p)$ і ТЕ $K_0(p)$), потрібно знайти оптимальне значення її числових параметрів, при яких забезпечується екстремальне значення заданого показника якості (синтез параметрів СУ ТЕ). У завданнях другого типу СУ повністю невідома і потрібно визначити її структуру і параметри так, щоб вона була оптимальною по прийнятому показнику якості (синтез структури СУ). На практиці зазвичай заданий об'єкт управління, тому завдання синтезу полягає у визначенні структури і параметрів оптимального керівника устройства—УУ (рис. 6.20).

Змінні виходу $Y(t)$, управління $u(f)$, вхідних $x_m(t)$ і обурюючих $f_c(t)$ дій в загальному випадку можуть бути як скалярними, так і векторними величинами при багатовимірних об'єктах: $Y(t), u(t), X_n(t), f_3(jt)$.

Найбільш поширеним є завдання визначення оптимальних управлінь $u(f)$, що забезпечують оптимальні процеси у функції часу при заданих початкових $Y(Q)$ і кінцевих $Y(tK)$ значеннях вихідних змінних. Оптимальні управління $u(t)$ ТО і їх реалізацію розрізняють для двох основних випадків — без застосування зворотних зв'язків (розімкнена СУ) і із застосуванням зворотних зв'язків (замкнута СУ). У розімкненій оптимальній СУ пристрій, що управляє, за заданими граничними умовами формує оптимальний закон управління. При цьому координати ТЕ не використовуються у формуванні закону управління. У замкнутій оптимальній СУ на вхід УУ подаються відповідні сигнали з виходу ТО (рис. 6.21).

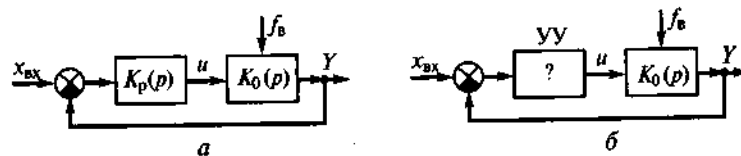


Рис.6.20. Структурна схема систем управління



Рис.6.21. Структурна схема систем оптимального управління

Рішення задачі синтезу оптимальної системи управління починають з опису реальних елементів системи математичними співвідношеннями (складання ММ системи). Далі встановлюють наявні обмеження для координат системи і аналізують характеристики сигналів зовнішніх дій, а також складають математичний вираз заданого критерію якості. Після того, як завдання синтезу математично сформульоване, її вирішують відповідними математичними методами, внаслідок чого знаходять функцію управління з умови мінімуму або максимуму показника якості, що визначає оптимальний режим роботи ТО.

Аналітичне рішення задачі синтезу оптимальних систем управління виконують методами теорії оптимального управління, в результаті якого знаходять аналітичний вираз, що визначає структуру і параметри УУ.

У простих завданнях управління стаціонарними об'єктами за відсутності зовнішніх обурень можна обмежитися таким алгоритмом оптимального управління, який визначає незмінну настройку оптимального регулятора (пристрою, що управляє). При цьому передбачається наявність достатнього об'єму попередніх відомостей (ап'іорній інформації) про внутрішні і зовнішні умови роботи об'єкту і системи. Чим повніше на стадії проектування ап'іорна інформація про характеристики системи і умови її роботи, тим точніше за СУ, отримана в результаті проектування. Це означає, що в даному випадку оптимізується тільки конструкція системи з метою отримання оптимальних процесів.

Існує великий клас об'єктів управління, статичні і динамічні характеристики яких змінюються в широких межах заздалегідь непередбаченим чином; при цьому неможливо описати фізичні процеси, що протікають в них при функціонуванні СУ в реальних умовах. У зв'язку з цим СУ нестационарними об'єктами працюватимуть в умовах невизначеності (недостатності — «неполноты» — ап'іорної інформації про характеристики керованого процесу).

Подальше вдосконалення виробничих і ТП обумовлене ускладненням завдань управління. Специфічна особливість цих ускладнень полягає в практичній неможливості докладного вивчення і опису процесів, що протікають в СУ. У міру ускладнення завдань, що покладаються на СУ із-за зменшення ап'іорної інформації про систему, з'являються труднощі в забезпеченні заданої якості управління. Для подолання цих труднощів при розробці СУ, функціонування яких відбувається в умовах невизначеності, застосовують принцип адаптації. Це дозволяє штучно створити ефект пристосування до умов, що змінюються, в СУ за рахунок того, що частина функцій по отриманню, обробці і аналізу бракуючої інформації про керований

процес здійснюється самою системою в процесі її нормальної експлуатації за допомогою адаптивного пристрою (АУУ), що управляє, а не проектувальником на попередній стадії розробки системи. Це дозволяє істотно понизити вплив невизначеності на якість управління і компенсувати певною мірою недолік апріорної інформації про керований процес на стадії проектування.

Системи управління, в яких параметри дій, що управляють, або алгоритми управління автоматично і цілеспрямовано змінюються для здійснення в якому-небудь сенсі якнайкращого управління ТО (причому характеристики ТО або дій зовнішнього середовища можуть змінюватися заздалегідь непередбаченим чином), називають адаптивними СУ.

Розвиток нових технічних засобів радіоелектроніки, обчислювальної техніки і технічної кібернетики, а також вивчення і моделювання органів живих організмів дозволяють створювати і удосконалювати адаптивні СУ.

Узагальнена функціональна схема адаптивної СУ показана на рис. 6.22, де АУУ в загальному випадку є комплексом вимірювальних, преобразовательних і обчислювальних пристроїв, а також підсилювальних і старанних елементів.

Принцип адаптації застосовують в тих випадках, коли складність керованого процесу (нестационарного об'єкту) досягає такого рівня, при якому вплив неповноти апріорної інформації про умови роботи системи стає істотним і неможливо забезпечити задану якість процесів управління без пристосування системи непередбаченим чином, що змінюється, умовам функціонування.

Враховуючи, що основним призначенням всяким СУ є досягнення необхідної мети управління в умовах, в загальному випадку заздалегідь не визначених, їх можна розділити на два класи:

- системи з жорсткою настройкою, в яких неповнота інформації не заважає досягненню мети управління;
- адаптивні СУ, в яких неповнота інформації не дозволяє досягти мети управління із заданою точністю без автоматичного пристосування системи в умовах невизначеності.

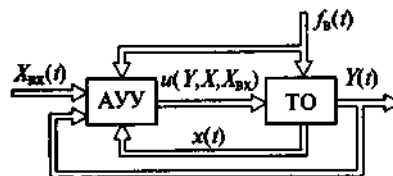


Рис. 6.22. Функціональна схема адаптивної СУ

Обидва класи СУ можна побудувати так, щоб забезпечувалися якнайкращі показники якості, тобто в загальному випадку вказані класи систем можуть бути оптимальними СУ з «жорсткою» настройкою і адаптивними оптимальними СУ. При рішенні задачі синтезу оптимальною адаптивною СУ вибирають показник якості, що характеризує досягнення необхідної мети управління в умовах невизначеності. Аналітичне рішення задачі синтезу адаптивних систем виконують відповідними методами теорії автоматичного

управління. Оптимізацію складних СУ за допомогою адаптивних пристроїв, що управляють, називають автоматичною оптимізацією.

Таким чином, при розробці оптимальних адаптивних СУ ТО створюють їх оптимальну конструкцію, яка забезпечує автоматичну оптимізацію в умовах невизначеності.

6.5. Розвиток систем керування

Розвиток засобів автоматики і електроніки і перш за все механізмів і пристроїв програмного управління дозволяє виконувати ці функції на якісно вищому рівні, а іменно—управлять роботою агрегатів з оптимізацією режимів їх роботи, адаптацією і самонастройкою режимів, додаючи системам управління не тільки функції виконання розробленої програми, але в значній мірі і сам процес програмування.

При створенні автоматичних і автоматизованих систем різного призначення до недавнього часу як їх обчислювальна основа широко використовували два класи засобів цифрової техніки:

- пристрої з жорсткою структурою, виконані на базі цифрових логічних схем;
- електронні обчислювальні машини (ЕОМ) універсальні і управляють.

Пристрої з жорсткою структурою зазвичай містить велике число дискретних елементів і інтегральних схем малого і середнього ступеня інтеграції. При цьому різного роду зміни функцій вимагають зміни схеми (тобто перепаювання з'єднань, заміни компонентів), перевірочних тестів. Тому головним недоліком системи на основі таких пристроїв є значний час проектування і виготовлення, а також труднощі внесення змін.

Системи на основі ЕОМ можна легко перебудовувати з реалізації однієї функції на іншу, для чого досить скласти і занести в пам'ять нову програму. Виконання алгоритму функціонування в таких системах здійснюється програмно. При використанні серійних ЕОМ це значно скорочує терміни проектування, виготовлення і настройки системи.

Використання ЕОМ в процесах управління ТЕ привело до появи виробничих систем, що отримали назву СІМ (Computer integrated manufacturing) або комп'ютеризовані інтегровані виробництва (рис. 6.23). Найважливішими компонентами таких систем є підсистеми автоматизованого проектування, а також програмно-апаратний інтерфейс. Така система є автоматизованим комплексом з гнучко перебудовуванню технологією, в якій управління здійснюється від центральної ЕОМ. Ця ЕОМ є системою більш високого рівня управління по відношенню до кожної ЕОМ управління ТО, що входять в такий комплекс, і забезпечує максимальне і рівномірне завантаження верстатів за допомогою автоматизованих транспортних засобів для деталей і ріжучих інструментів і здійснює «спостереження» за ходом ТП (проведення контролю і введення відповідних коректив в роботу ТО, зміна відповідним чином

технологічних маршрутів обробки і зміна, при необхідності, заданих в програмі параметрів).

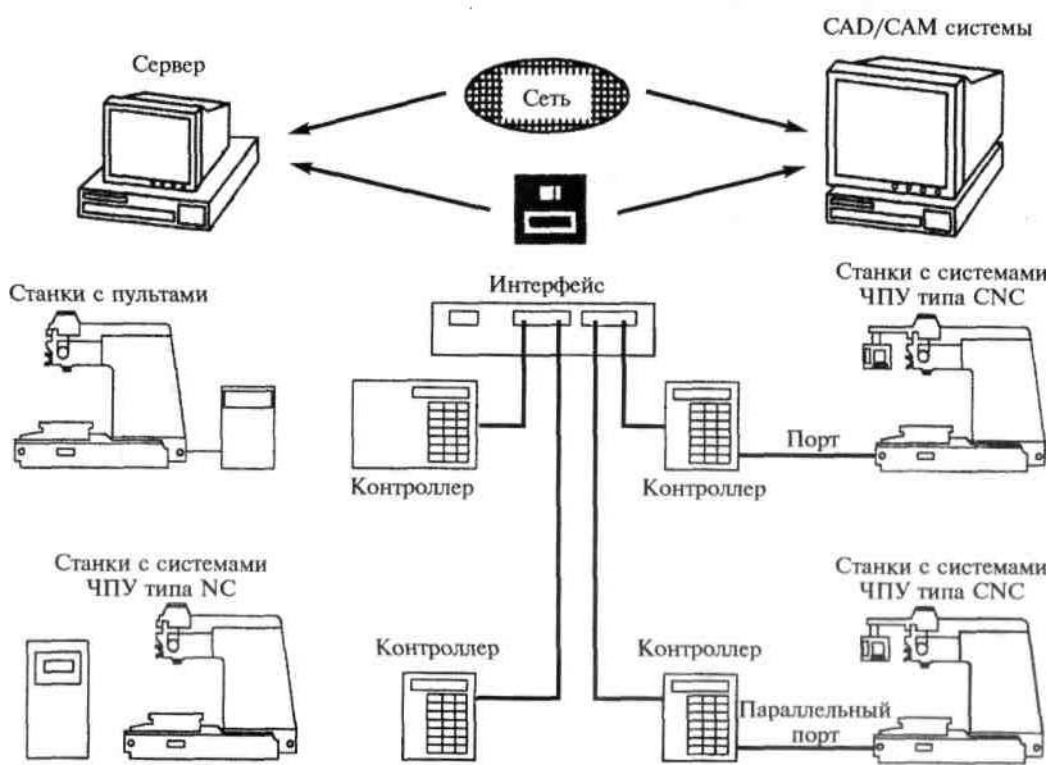
ЕОМ також здійснює розподіл робочих програм, що зберігаються в бібліотеці програмного забезпечення. При цьому, не дивлячись на те що ЧПУ на базі ЕОМ має великий об'єм власної пам'яті, достатньої для зберігання програми на здійснення всього ТП, далеко не завжди раціонально передавати її з ЕОМ в ЧПУ повністю із-за труднощі коректування такими засобами.

Наступним вищим рівнем автоматичного управління є забезпечення обліку, планування і диспетчера роботи автоматизованого комплексу. Це по суті справи є рівнем автоматизованої системи управління (АСОВІ) цеху або підприємства, яка реалізується також за допомогою ЕОМ, але, як правило, значно могутнішою, оскільки зазвичай тут вирішуються більш загальні завдання, у тому числі і завдання автоматизованої підготовки програм, що управляють, для ТО.

Така багаторівнева СУ також включає завдання автоматизації адміністративного управління. Дану систему називають гнучкою інтегрованою системою. При цьому нижчі рівні можуть у разі потреби працювати автономно.

Системи управління на базі ЕОМ будують також на основі мікропроцесорів (МП). У МП об'єднані універсальні можливості програмованого засобу з перевагами і можливостями, які представляє технологія мікропроцесорної техніки.

Формування і розвиток МП привело до появи нового підходу до проектування цифрових систем на основі програмованої логіки. Цей підхід припускає при побудові систем використання стандартних універсальних МП, що працюють під управлінням програми. Якщо розробник систем на основі пристроїв з жорсткою структурою може використовувати для реалізації необхідних функцій тільки апаратні засоби, а при використанні ЕВМ—в більшого ступеня тільки програмні засоби, то при побудові СУ на основі програмованої логіки він дістає можливість використовувати повністю як



апаратні, так і програмні засоби.

Необхідно відзначити, що вартість, малі розміри і маса, висока надійність засобів МП додають СУ нові якості, що дозволяють істотно наблизити засоби

Рис. 6.23.Схема комп'ютеризованої інтегрованої виробничої системи

обробки інформації і управління до місць її виникнення і додатку дій, що управляють. У конструктивному відношенні засобу МП стають вбудованими, тобто є елементами і вузлами автоматичних систем, підлеглих своїй логіці, своїм завданням.

Для подальшого розвитку систем управління технологічними об'єктами і процесами необхідно використовувати CALS-технології. Це забезпечує надання необхідній інформації в потрібний час, в потрібному вигляді, в конкретному місці життєвого циклу при виготовленні виробу. В цьому випадку завданнями CALSтехнології є: структуризація і моделювання даних про технологічні об'єкти; забезпечення ефективного управління і обміну даними; створення і супровід документації для підтримки життєвого циклу технологічного об'єкту.

Питання для самоперевірки

1. Що є ТО в машинобудуванні?
2. Призначення систем управління ТО.
3. Що таке програма управління?
4. Що таке дискретна система управління?
5. Перерахуйте основні вимоги, що пред'являються до СУ.
6. По яких ознаках можна класифікувати СУ?
7. Що таке аналогові СУ?
8. Опишіть принцип дії тієї, що копіює СУ.
9. Опишіть принцип роботи гідропідсилювача.
10. Чим визначається точність функціонування СУ?
11. Що таке статичні і астатичні системи управління?
12. Як впливають коефіцієнти посилення окремих ланок СУ, що становлять, із зворотним зв'язком?
13. Назвіть переваги СУ із зворотними зв'язками в порівнянні з СУ без зворотних зв'язків.
14. Призначення датчиків зворотного зв'язку.
15. Які методи використовують при формуванні сигналів зворотного зв'язку?
16. У яких випадках використовують крокові двигуни і в яких — високомоментні двигуни?
17. Як формується сигнал розузгодження в замкнутих СУ?
18. Яке призначення має розширена матриця переходу, який її склад?
19. Який принцип використовують при побудові оптимальних СУ?

Лекція №7

Тема лекції: «ФОРМУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ У РОЗПОДІЛЕНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ»

План лекції

7.1. Принцип багато об'єктного технологічного проектування в розподілених виробничих системах

7.2. Розробка інваріантної інформаційної моделі віртуальної виробничої системи

7.3. Інформаційні зворотні зв'язки у віртуальній виробничій системі

7.4. Методи і засоби моделювання процесу формування віртуальної виробничої системи

7.5. Особливості технологічного проектування у віртуальній виробничій системі

7.6. Розробка структури і алгоритму процесу багато об'єктного технологічного проектування

Конспект лекції

7.1. Принцип багато об'єктного технологічного проектування в розподілених виробничих системах

Процес функціонування РВС характеризується, зокрема, ступенем завантаження технологічного обладнання її складових. У реальних умовах, при виконанні виробничих завдань, неминучий простий технологічного обладнання. Це пояснюється наступними чинниками: неможливість підбору обладнання по технологічних можливостях, однозначно відповідних вимогах виконуваних ТП; неритмічністю проходження планових виробничих завдань; деяким запасом по кількості і технологічним можливостям технологічного обладнання з метою гарантованого забезпечення необхідних умов функціонування ВС і ін. Все це приводить до появи певного об'єму надмірності виробничих ресурсів. Розмір і склад ресурсів, а також характер їх зміни в часі є визначуваними параметрами ВС.

При виконанні кожної РПС своїх виробничих завдань (ПЗ) виробничі процеси в них протікають незалежно один від одного. На рис. 7.1 представлена схема проходження ПЗ через РВС. У 1-ій РПС ($1 < i < n$) виконується видів готової продукції (ГЦ). Для виконання цього об'єму РПС, повинна володіти технологічною гнучкістю, що дозволяє реалізувати відповідні технологічні процеси.

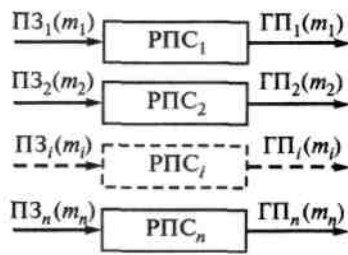


Рис. 7.1. Проходження ПЗ через РВС

На рис. 7.2 приведені різні варіанти розподілу технічно можливої гнучкості і технологічно необхідній гнучкості. На рис. 7.2, *а* представлений випадок, коли дану РВС не можна використовувати для виконання заданого ТП навіть частково. Тут безліч параметрів технічно можливої гнучкості РПС, не має загальної області з безліччю параметрів технологічно необхідній гнучкості, тобто

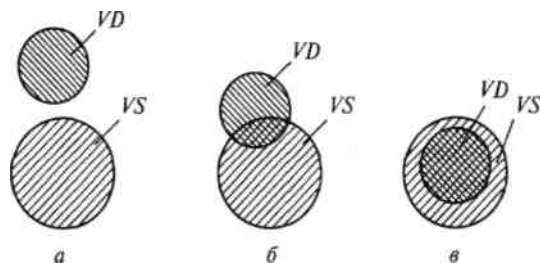


Рис. 7.2. Відношення технічної можливості гнучкої і технологічної необхідності гнучкості

На рис. 7.2, *б* представлений випадок, коли РПС, можна використовувати для виконання лише частини заданого ТП. Множина технічно можливої гнучкості має загальну область з множиною технологічно необхідній гнучкості, тобто

На рис. 7.2, *в* представлений випадок, коли РПС, може повністю забезпечити виконання заданого ТП. Множина технологічно необхідній гнучкості є підмножиною технічно можливої гнучкості

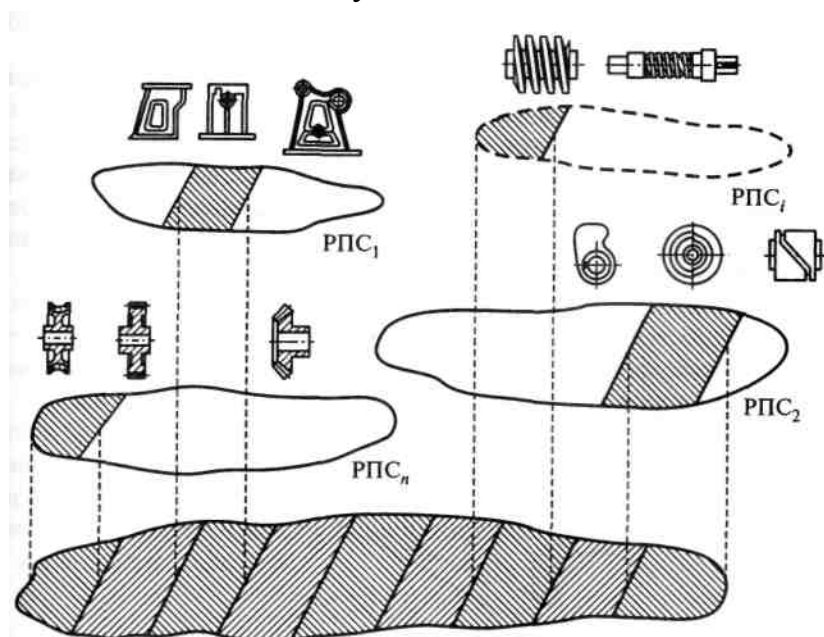


Рис. 7.3. Формування ОВС на основі множини ВРС

У реальних ВС має місце третій з приведених випадків. Таким чином, можна розглядати кожен виробничу систему як деякий масив параметрів, що характеризують її технологічні можливості, причому деяка частина цього масиву в кожен момент часу буде зайнята виконанням заданих ТП, а інша частина залишатиметься не завантаженою. Причому ці частини мінятимуться як по своєму складу, так і по співвідношенню розмірів в кожен момент часу по міру виконання одних ТП і почала інших. При цьому в кожен момент часу t можна представити сукупність вільних частин РВС як деяку віртуальну виробничу систему, характерною особливістю якої є те, що вона складається з частин РВС, які об'єднані лише організаційно, без проведення яких-небудь матеріальних перетворень.

У кожен період часу технологічні можливості кожної РВС в основному пов'язані з виконанням деякого об'єму ПЗ, на яких вони орієнтовані. При цьому деяка їх частина виявляється вільною. Сукупність вільних частин РВС може розглядатися як узагальнена ВС (ОВС), що володіє технологічними можливостями, що перевищують технологічні можливості окремих РВС. Таке об'єднання є умовним і інформація про ОВС знаходиться тільки в пам'яті ЕОМ. На рис. 7.3 представлений процес формування ОВС на основі безлічі РВС.

Потужність масиву технологічних можливостей ОВС змінюється в часі. Це викликано тим, що ВЗ, що поступають в РВС, міняються по номенклатурі і об'єму партій. При цьому співвідношення зайнятих і вільних частин РВС також міняється. На рис. 7.4 показана зміна потужності масиву технологічних можливостей в часі.

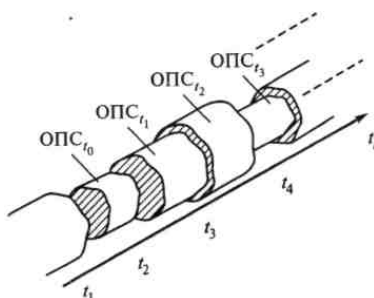


Рис. 7.4. Зміна потужності масиву технологічних можливостей ОВС

Для виконання заданих ПЗ потрібне використання частини ресурсів ОВС. Отже, на основі ОВС необхідно сформувати ПС, що найкращим чином відповідає вимогам забезпечення виконання ПЗ. Оскільки інформація про організацію такої ПС міститься тільки в пам'яті ЕОМ, вона є ВВС.

При формуванні ВВС необхідне виконання наступних умов:

- 1) мінімізувати об'єм використовуваних ресурсів, необхідних для виконання ПЗ;
- 2) максимізувати позитивний результат, який можна отримати з наявним запасом ресурсів;
- 3) отримати якнайкращий баланс витрат (використовуваних ресурсів) і результатів (виконання ПЗ).

Час життя конкретної конфігурації ВПС визначається, з одного боку, вимогами поточного ТП, з другої—ресурсами ОПС, визначуваними можливостями кожної РПС з погляду їх власної завантаження поточними ТП.

Процес формування ВПС характеризується розподілом ресурсів ОПС в часі і побудовою ТП для виконання ПЗ. Оскільки ПЗ складається з декількох видів виробів, процес проектування ТП виготовлення кожного з них визначатиметься результатами проектування ТП виготовлення інших видів. Таким чином, процеси проектування ТП всього ПЗ виявляються взаємозв'язаними і залежними один від одного, що визначає багатооб'єктність технологічного проектування в умовах ВВС. Процес технологічного проектування у ВВС визначається наступними параметрами: розподілом виробничих ресурсів ОВС, характеристиками кожного найменування виробів, кількістю виробів кожного найменування, термінами їх виконання.

Формування чергової конфігурації ВВС визначається взаємодією двох інформаційних потоків:

- про вироби, що виготовляються;
- про параметри ОВС.

Управління процесами взаємодії окремих частин ОВС при формуванні ВВС забезпечує виконання заданих ПЗ при мінімальних економічних витратах. Під управлінням розумітимемо формування командної інформації на основі ухвалення рішень з комплексної проблеми розподілу ресурсів і використання технологій. Особливістю такого управління є у багатьох випадках попереднє ухвалення рішень, оскільки досягнення бажаного стану ВВС залежить від набору взаємозв'язаних рішень (системи рішень). Інша особливість полягає в тому, що рішення, прийняті на ранніх етапах процесу управління, повинні ухвалюватися з урахуванням їх впливу на подальші рішення.

Управління зв'язане, з одного боку, із запобіганням помилковим діям за рахунок виявлення таких на ранніх етапах, з іншої — із зменшенням об'єму невикористаних можливостей існуючих ПС. Велика кількість параметрів, що впливають на процес ухвалення рішення, великий об'єм обчислень при моделюванні поведінки ВВС в часі і обмеженість часу вимагають побудову системи управління на основі інтелектуального управління (ІУ). Інтелектуальне управління дозволяє виконувати функції людини при підготовці початкової інформації, моделюванні, аналізі отриманої інформації і формуванні командної інформації в умовах обмеження часу у багатьох випадках без участі самої людини.

7.2. Розробка інваріантної інформаційної моделі віртуальної виробничої системи

Технологічне проектування в умовах РВС є багато етапним і ітераційним. При такому проектуванні необхідне формування інформації, що включає масиви даних про наочну область, існуючі структури об'єкту, відомі і прогнозовані відносини і

зв'язки між елементами і властивостями об'єкту і зовнішнім середовищем, що розробляються. Така інформація є середовищем, що породжує, необхідним для ухвалення рішень, на основі яких здійснюється оперативне управління. Складовими частинами цього управління є технологічне і організаційне управління. Мета технологічного управління—обеспечение необхідних властивостей виробу, мета організаційного управління—формирование ВВС для реалізації ТП, необхідних для виконання ПЗ. Ці управління здійснюють динамічну перекомпоновувати ресурсів окремих доступних частин РВС.

Слід зазначити, що вирішувана проблема ускладнюється обмеженістю в часі процесів ухвалення рішення і частою зміною як складу ресурсів доступних виробничих систем, так і їх параметрів.

Для виконання ПЗ потрібно спроектувати технологічні процеси і для їх реалізації сформувані ВВС на основі ОВС. Схема формування ВВС на основі ОВС представлена на рис. 7.6. Інформація про ПЗ поступає в систему технологічного проектування з ІУ. Тут здійснюється аналіз інформації, що поступає, на основі якого відбувається ухвалення рішень по вибору поточної конфігурації ВВС, за визначенням маршрутів ТП і формується командна інформація для менеджера і РВС, що становлять ВВС.

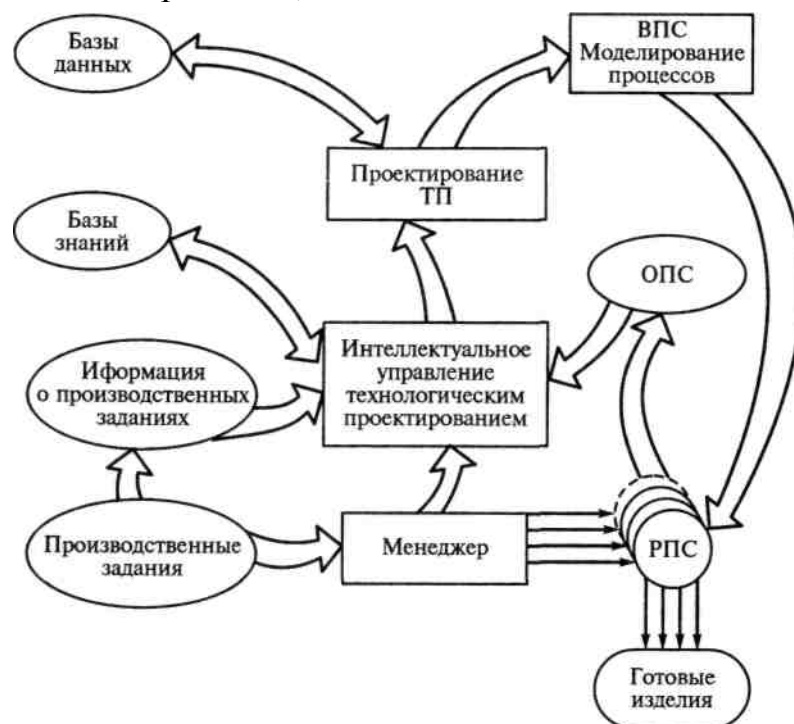


Рис. 7.6. Схема формування ВВС на основі ОВС

Аналіз і ухвалення рішень здійснюється на основі інформації про технологічні можливості ОВС, їх розподіл в часі, інформації про ПЗ у вигляді спроектованих на них ТП. При цьому використовуються бази даних (БД) і бази знань (БЗ).

Система управління виробництвом на основі отримуваної інформації про характеристики ПЗ і інформації про ОВС визначає стратегію ТП, що включає проектування ТП, розподіл виконуваних технологічних операцій безпосередньо по технологічному устаткуванню і послідовність запуску ПЗ.

На рис. 7.7 представлена інваріантна інформаційна модель процесу функціонування ВВС.



Рис. 7.7. Модель функціонування ВВС

Якість функціонування ВВС визначається її властивостями, основними з яких є: живучість, прогнозованість, стійкість, керованість, спостереження.

Для забезпечення надійного функціонування ВВС потрібне забезпечення незалежності її функціонування від дій зовнішнього середовища. Для систем, побудованих по ієрархічній структурі, характерна живучість—свойство активно протистояти шкідливим діям зовнішнього середовища і виконувати свої функції в умовах такої дії. Завдяки цій властивості відмова якої-небудь підсистеми приводить не до відмови всієї системи, а тільки до деякого зниження ефективності її функціонування.

Використання у ВВС паралельного функціонування споріднених елементів або елементів однакового призначення забезпечує живучість системи, тобто її функціонування, але з меншою ефективністю, при виході з ладу одного або декількох елементів. Робота за таким принципом отримала назву функціонування з «гарячим» резервом. Стосовно ПС в умовах багато потокової обробки вихід з ладу одного або декількох одиниць технологічного обладнання не приводить до зупинки всієї системи; її робота продовжується, проте з нижчою продуктивністю і, як правило, із зміненим алгоритмом управління.

Функціонування ВВС ґрунтується на моделюванні протікаючих виробничих процесів. Стан її параметрів визначається для окремих моментів часу t_r . При їх моделюванні на подальших інтервалах часу, унаслідок дії шкідливих чинників, можуть виникнути ситуації, коли результат виявляється неприпустимо відмінним від реальних параметрів.

Причиною виникнення подібної ситуації є помилки при формуванні початкової інформації, непередбачувані, раптові зміни стану РВС або їх елементів, задіяних у ВВС і так далі (наприклад, раптова відмова якого-небудь технологічного обладнання). Тому функціонування системи багато об'єктного технологічного проектування повинне бути захищене від збоїв, що досягається резервуванням і архівацією (фіксацією) проміжних станів системи проектування.

При збої системи її відновлення здійснюється з параметрами останньої архівації. Для цього передбачений реєстр, куди регулярно заноситься інформація про проміжні результати роботи системи.

Крім того, в реєстр заноситься інформація про отримувані параметри на різних кроках (інформація про передісторію функціонування ВВС). Така організація дозволяє перейти не тільки до останнього стану системи, але і при необхідності повернути її в раніше стани. Це може виявитися необхідним, коли виходять негативні результати при неправильній організації дій системи на деякому кроці.

Таким чином, відновлення системи виявляється можливим до стану, передування моменту часу ухвалення «неправильного» рішення і тим самим можливе виправлення помилки.

Прогнозованість ВВС забезпечується перш за все наявністю адекватних ММ її елементів, що становлять, і моделюванням процесу її функціонування в часі. Однією з основних умов забезпечення точності прогнозу є своєчасне отримання достовірної інформації про зміну ситуації і відповідній корекції параметрів моделі на прогнозований період часу.

Стійкість ВВС визначається наявністю зворотного зв'язку (ОС) і не лінійністю її характеристик (елементи оптимального управління). Наявність інформації з ОС дозволяє здійснювати регулярне зіставлення поточних параметрів елементів РВС, що становлять ВВС, і параметрів, отриманих для цього етапу за допомогою моделі. При неадекватності отриманих даних оперативно виробляється командна інформація на корекцію параметрів моделі і облік чинників, що викликали це відмінність.

Керованість ВВС може трактуватися як завдання перекладу системи з одного заданого стану в інше за кінцевий час.

У зв'язку з тим що формування РВС відбувається при виконанні умови забезпечення можливості управління будь-яким параметром стану елементів РВС, що становлять ВВС, дана система є повністю керованою.

Спостереження ВВС є важливою властивістю системи при її управлінні. Для здійснення управління (незалежно від того, виконується воно автоматично або уручну), необхідно мати інформацію про поточний стан системи, тобто про значення змінних стану j_s в кожен момент часу. Проте деякі із змінних z_t є абстрактними змінними, не мають фізичного аналога в реальній системі і тому не можуть бути зміряні.

Як початкові дані при моделюванні процесів функціонування ВПС є наступні показники:

1. Тривалість життєвого циклу ВВС.
2. Прогнозне значення періоду часу, протягом якого достовірність інформації, що отримується в результаті моделювання, відповідає заданим умовам.
3. Обмеження (бажані рівні), що визначають відповідність процесу функціонування ВВС заданим умовам.

4. Дані по кожній доступною ПС (ресурси, тривалість доступу, терміни доступу).

При проектуванні ТП в умовах РВС необхідно враховувати склад ПЗ. Сукупність робіт(включаючи проектні), необхідні для виготовлення деякого виду (номенклатури) виробів, складових ПЗ, можна розглядати як окремий проект.

Під життєвим циклом проекту розумітимемо частину періоду життєвого циклу виробу від моменту формування технічного завдання на проектування і до моменту закінчення його виготовлення. Можна виділити дві групи ПЗ, що поступають у ВВС:

- незалежні один від одного;
- залежні один від одного.

До першої групи відносять вироби, ТЗ на яких не залежать від результатів процесу проектування інших виробів. Період життєвого циклу проекту рівний

$$T_{п.ж.ц} = T_{ПРОЕК1} + T_{ВИГ},$$

де $T_{п.ж.ц}$ — період життєвого циклу проекту; $T_{ПРОЕК1}$ — час проектування виробу; $T_{ВИГ}$ — час виготовлення виробу.

До другої категорії відносять вироби, ТЗ на яких залежать від процесу проектування інших виробів. В цьому випадку для процесу проектування потрібні дані, які можуть бути сформовані тільки на підставі інформації, отриманої в процесі проектування інших виробів (наприклад, базовим щодо того, що розглядається).

В цьому випадку період життєвого циклу проекту

$$T_{п.ж.ц} = T_{ПРОЕК1} + T_{ВИГ} + T_{ПРОЕК2}$$

Тут $T_{ПРОЕК2}$ — час проектування зв'язаного виробу.

Інформацію про окремі характеристики технологічного обладнання (оснащення, інструмент, верстати і т. д.) можна представити у вигляді окремих векторів.

Формування ВВС починають з визначення її структури. Структурне моделювання є найбільш складною областю для формалізації. У більшості систем автоматизованого проектування основні функції структурного моделювання виконує людина. Виконання цих функцій може здійснюватися як в процесі проектування, так і при описі наочної області. При автоматизованому проектуванні об'єкту спочатку формується середовище, що породжує, в якому здійснюватиметься синтез цього об'єкту. Середовище, що породжує, включає дані про наочну область, до якої відноситься об'єкт, про існуючі структури об'єкту, що розробляються, відомі або прогнозовані відносини і зв'язки між елементами і властивостями об'єкту і зовнішнього середовища. Можливість отримання в результаті моделювання декількох варіантів структур дозволяє міняти склад елементів структури залежно від зміни зовнішніх умов. Такими умовами можуть бути:

1) параметри ПЗ;

- 2) спадкоємство властивостей ТП від результатів попереднього проектування подібних ТП;
- 3) зміна значень параметрів ПС;
- 4) діалогове коректування результатів проектування користувачем на основі аналізу поточних вимог технологічного проектування.

Інформацію про вільні частини РВС можна представити в двох варіантах:

- про конкретне технологічне обладнання РВС і термінах його можливого використання;
- про кінцевий результат виконання ПЗ або його частини.

У першому випадку інформація про вільні частини РВС представляється у вигляді початкових даних про вільне технологічне обладнання, на основі якої формується ОПС. Далі здійснюється технологічне проектування і реалізація спроектованих ТП в сформованій ВВС.

У другому випадку відразу представляється інформація про кінцевий результат реалізації заданого ПЗ або його частини в деякій РВС без вказівки її характеристик. В цьому випадку таку РВС можна розглядати, як «чорний ящик», в якому здійснюється ТП в обумовлені терміни за встановлених умов.

7.3. Інформаційні зворотні зв'язки у віртуальній виробничій системі

Високоєфективні ТП вимагають разом з використанням обладнання, виконаного з високою якістю, управління, яке забезпечує оптимальне їх протікання по всіх параметрах. При цьому необхідне виконання наступної умови:

$$F(X, X'', \dots, U, U'', \dots) = C(M, M'', \dots, L, L'', \dots)$$

де F — функція, що визначає поточні значення параметрів протікання конкретного технологічного процесу; C — цільова функція оптимального поєднання окремих параметрів технологічного процесу в кожен момент часу, при яких найкращим чином забезпечується його протікання.

Розрізняють два випадки формування початкової інформації:

- поточні оптимальні значення параметрів технологічного процесу відомі;
 - поточні оптимальні значення параметрів невідомі, відомі лише кінцеві значення параметрів або закон зміни деякого кінцевого числа параметрів.
- В динамічному режимі відхилення параметрів визначатимуться додатковими динамічними помилками, що виникають при реалізації в часі дій, що управляють, у ВВС. Зменшити вказані помилки можна шляхом порівняння інформації, що управляє, про зміни дії, що управляє, і інформації про реальний відробіток цих змін.

Процес функціонування ВВС визначається результатами моделювання протікання ТП в ній. Зважаючи на не повну адекватність ММ реальною ПС результати моделювання можуть істотно відрізнятися від реального стану ПС. При отриманні інформації про параметри РВС можуть виникати помилки в інформаційному забезпеченні, обумовлені наступними причинами:

- помилки у визначенні параметрів РВС (зміна складу і параметрів технологічного оснащення, динамічна зміна параметрів елементів ПС);
- непередбачувані зміни характеристик РВС (раптовий вихід з ладу окремих технологічних одиниць обладнання, відмова окремих ПС від своєї частини робіт і ін.).

Корекція параметрів моделі з метою зменшення розбіжності результатів моделювання і параметрів ПС забезпечується введенням ОС.

Інформація ОС є зворотним інформаційним потоком, який дозволяє зіставити інформацію, що отримується в результаті моделювання і реального функціонування частин РВС, що становлять ВВС. На рис. 7.8 представлена структура ОС у ВВС.

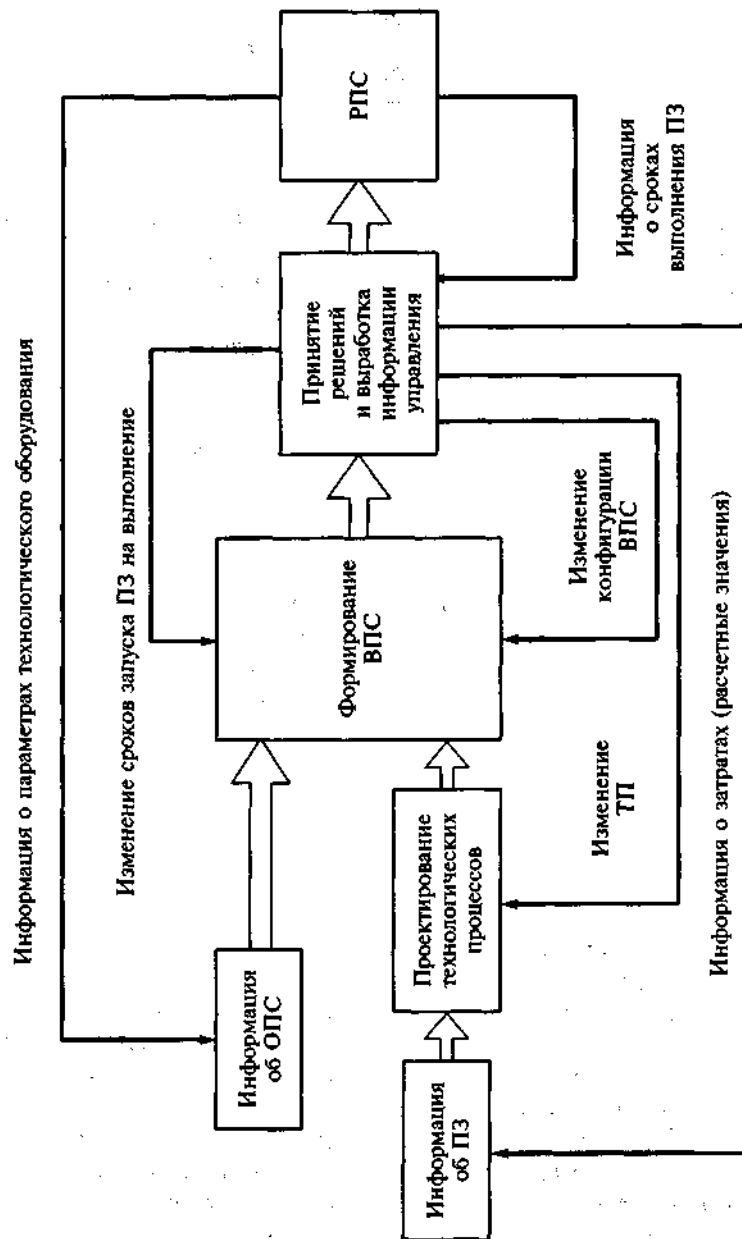


Рис.7.8. Структура ОС в ВВС

Достовірність інформації про параметри технологічного обладнання в РВС забезпечується передачею даних, що отримуються в результаті діагностування в них технологічного обладнання. Крім того, повинне проводитися періодичне обстеження технологічного оснащення на предмет зниження трудомісткості переналагодження і отримання інформації про витрати часу цього переналагодження.

Інформація про реальні терміни виконання ПЗ необхідна для корекції результатів моделювання і формування інформації управління. У разі зміни реальних термінів виконання ПЗ здійснюється корекція початкових даних ММ функціонування ВВС і далі проводиться розрахунок з урахуванням їх нових значень. В цьому випадку може виникнути необхідність повернення значень стану моделі до значень на момент часу.

При ухваленні рішення по корекції процесу функціонування ВВС можливі наступні варіанти:

1. коректування розмірів заготовки;
2. зміна маршруту обробки;
3. вдосконалення і уточнення ТП;
4. коректування процесу запуску ПЗ на виконання;
5. вибір інших крапок ВВС, в яких здійснюється запуск ПЗ;
6. модифікація поточної конфігурації ВВС;

7. конструкторське доопрацювання технологічного оснащення, зміна операційній технології, оснащення верстатів легкопереналаживаємою, широкодіапазонним технологічним оснащенням, що забезпечує без значного переналагодження високоточне базування і надійне закріплення заготовки в процесі обробки;

8. коректування конструкції деталі.

Використання проміжної інформації про виконувані ТП на етапах моделювання дозволяє проводити орієнтовні економічні розрахунки техніко-економічної ефективності. На основі цих розрахунків виявляється можливим на ранніх етапах життєвого циклу виробу отримати дані про його собівартість і умови виробництва, будувати оптимальні ТП стосовно конкретних виробничих умов.

Отримання інформації зворотного зв'язку здійснюється наступними шляхами:

- проміжна оцінка проєктованих варіантів за допомогою економічних розрахунків;
- обстеження елементів ПС (отримання і уточнення параметрів).

Наявність у ВВС ОС дозволяє розглядати її як замкнуту систему. Алгоритм управління ув'язується з алгоритмом функціонування системи і її фактичним станом. Для цього здійснюється визначення поточних значень вихідних змінних $H(t)$, їх порівняння із заданим $G\{t\}$ і вироблення дій $E(i)$, що управляють, на входи системи залежно від поточного відхилення ($G—Я$). У системі змінні E вже не є зовнішніми, не залежними від вихідних змінних діями і, по суті, повинні розглядатися як частина вихідних змінних. До зовнішніх дій в даному випадку можна віднести компоненти вектора $H(i)$.

7.4. Методи і засоби моделювання процесу формування віртуальної виробничої системи

Особливістю автоматизації процесу формування ВВС є віддзеркалення його в Мм. Під ММ ВВС розумітимемо систему математичних співвідношень, що описують з необхідною точністю елементи РВС і процеси їх взаємодії, їх поведінку в реальних умовах.

Математичні моделі елементів РВС, що входять в ОВС, є моделі великої розмірності, в яких повинні враховуватися обмеження і умови, у багатьох випадках невіддатливі прямому аналітичному опису. Внаслідок цього такі моделі часто неможливо представити у вигляді аналітичних моделей. Тому при розробці ММ процесів формування ВВС використовують імітаційне моделювання, яке разом з іншими методами складає комплексну процедуру.

При імітаційному моделюванні застосовують прямий опис модельованих об'єктів. Такі моделі характеризуються структурною подібністю об'єкту і його моделі. При імітаційному моделюванні проводять імітаційний експеримент, що реалізується за допомогою ЕОМ. При цьому ММ відображає поведінку модельованого об'єкту при заданих, змінних в часі, зовнішніх діях.

Імітаційне моделювання здійснюється шляхом відтворення подій, що відбуваються одночасно або послідовно в модельному часі. При цьому під подією розуміється факт зміни будь-якої фазовій змінній.

Основне призначення імітаційного моделювання полягає у виділенні найбільш істотних змінних, оцінці ступеня їх впливу на досліджувані параметри, вивченні дії різних організаційних, управлінських і техніко-економічних змін на показники функціонування ПС і її елементів. На основі цієї інформації проводять оцінку отримуваних рішень при пошуку оптимальної структури ТП і раціональної структури ПС, що реалізує цей технологічний процес.

У імітаційних моделях залежність вихідних параметрів від внутрішніх і зовнішніх задається неявно у вигляді алгоритму моделювання, який відображає процеси в системі за наявності зовнішніх дій на неї. Таким чином, імітаційна модель є алгоритмічною поведінковою моделлю.

Як складові частини імітаційної моделі використовують аналітичні ММ, що описують окремі явища в загальному процесі функціонування ВВС. На основі аналітичних ММ здійснюються процедури оптимізації, за допомогою яких проводиться пошук кращих варіантів умов функціонування ВВС.

Аналітичне моделювання доцільно використовувати в імітаційних моделях, оскільки для нього не потрібні значні витрати обчислювальних ресурсів. Часто, без постановки спеціальних обчислювальних експериментів, розробник може оцінити характер впливу аргументів на вихідні параметри, визначити їх оптимальні або раціональні значення. Але в більшості випадків аналітичне моделювання реалізується в окремих, приватних випадках, порівняно нескладних процесах, що мають місце при технологічному проектуванні.

Одним з найважливіших розділів математичної теорії управління і планування є лінійне програмування. Методи лінійного Програмування

дозволяють вирішувати оптимізаційні завдання розподілу ресурсів і мінімізації витрат. Завдання такого роду виникають при плануванні завантаження технологічного обладнання ВВС, розробці методів управління в ній і плануванні послідовності запуску окремих складових ПЗ.

7.5. Особливості технологічного проектування у віртуальній виробничій системі

Технологічне проектування в умовах РВС припускає виконання наступних умов:

- мінімальна собівартість виконуваних ТП;
- раціональний розподіл в часі моментів запуску окремих ПЗ на виконання;
- виконання заданих термінів виконання ПЗ.

Великий об'єм технологічних можливостей ОПС, що перевищує об'єм потрібних за умовами виконання ПЗ, дозволяє здійснювати формування різних прийнятних варіантів конфігурацій ВПС. Кожна з цих конфігурацій по-різному використовує ресурси ОПС при виконанні одних і тих же ПЗ. На рис. 7.9 представлений графік розподілу зон використовуваних ресурсів ОПС в часі.

Із збільшенням об'єму ресурсів ОВС, використовуваних у ВВС, терміни виконання всього об'єму ПЗ скорочуються. Оптимальним об'ємом використовуваних ресурсів слід вважати такий, при якому терміни виконання ПЗ співпадають із заданими.

У реальних умовах раціональним виявляється використання у ВВС об'єму ресурсів ОВС, при якому терміни виконання ПЗ виявляються коротшими щодо заданих. В цьому випадку при виникненні непередбачених змін параметрів РПС і (або) унаслідок обмеженої точності використовуваних ММ виключаються зриви заданих термінів виконання ПЗ.

Зона раціонального розподілу ресурсів ОВС у ВВС визначається конкретними виробничими умовами і вірогідністю виникнення випадкових подій, що впливають на протікання виробничих процесів. З метою зниження впливу випадкових чинників на процес виконання ПЗ в деяких випадках виявляється доцільним формування групи елементів ПЗ на основі основного завдання (елементи ПЗ з «короткими» термінами) і частини допоміжного (елементи ПЗ з «довгими» термінами), такого, що вимагає виконання тієї ж технологічної операції. Тоді вплив випадкових чинників робить дія на хід виконання допоміжних ПЗ, а основне ПЗ виконується в розрахункові терміни.

Проектування ТП в умовах РВС в першу чергу припускає синтез його структури. Під структурою ТП розумітимемо частково впорядковану послідовність технологічних установок, що забезпечують весь процес виготовлення виробу, тобто порядок обробки поверхонь з вказівкою відповідних технологічних баз. Процес структурного синтезу визначається ступенем складності виробу, що виготовляється. Метою такого процесу є отримання оптимального технологічного маршруту виготовлення деталі, при

якому досягається максимальна продуктивність (при забезпеченні інших заданих умов, наприклад, собівартість, точність і т. д.).

Часткова впорядкованість полягає в тому, що деякі установи можуть об'єднуватися в одній технологічній операції, виходячи із спільності вживаного обладнання і схем базування. У загальному випадку це синтез структури ТП, визначення складу його елементів, технологічних зв'язків між ними (топології) і засобів технічної реалізації (склад технологічного оснащення). Порядок обробки поверхонь встановлюється в результаті аналізу результатів виконання різних дій в поточній проектній ситуації, відповідаючи конкретній стадії виготовлення деталі і визначення можливих майбутніх ситуацій.

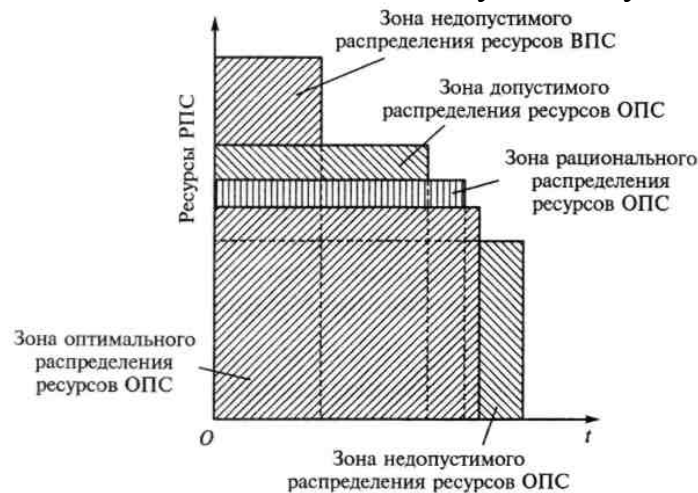


Рис.7.9. Розподіл зон, що використовуються ресурсами ОВС в часі

На підставі отриманого порядку обробки поверхонь будується схема ТП і здійснюється аналіз дотримання величин допусків на виконувані розміри, розрахунок припусків на обробку (з перевіркою відповідності їх величин вибраним методам обробки) і операційних розмірів. Вибирається технологічне обладнання. При задовільних результатах аналізу отримане проектне рішення ухвалюється. Інакше після коректування початкової гіпотези, наприклад, введенням додаткової обробки деяких поверхонь, синтезується новий варіант структури. На закінчення остаточного формуються технологічні операції при об'єднанні відповідних установок.

Таким чином, процес вироблення варіанту проектного рішення складається з послідовних дій з висунення взаємовиключних альтернатив, їх оцінки і власне вибору. Завдання вирішується одночасно на двох рівнях: висунення гіпотези рішення задачі і підтвердження цієї гіпотези. Синтез кращого, в деякому розумінні, варіанту структури або першого працездатного варіанту здійснюється методом перебору. При цьому перебір є не комбінаторним, тобто перевіряються не всі можливі альтернативні варіанти, а здійснюється направлений пошук з виключенням з розгляду свідомо неприйнятних рішень. Це досягається за рахунок використання загальних знань проблемного середовища і «внутрішньої» моделі проблемної ситуації. На підставі інформації, яка міститься в розмірних відносинах, конструктивно-геометричних властивостях деталі на різних стадіях її обробки і евристичних

методах здійснюється аналіз отриманих результатів. На основі проведеного аналізу виключаються заздалегідь неприйнятні варіанти і звужується простір пошуку. При цьому рішення знаходиться за менше число кроків, чим було б потрібно при повному переборі.

В умовах ВВС процес структурного синтезу є багатоваріантним, що необхідне для оперативної адаптації ТП при реалізації його в її поточній конфігурації. В результаті процесу проектування можуть мати місце декілька робочих варіантів реалізації одного і того ж ТП. Кількість таких варіантів залежить від складності деталі, що виготовляється. При проектуванні створюється черговий варіант одного і того ж ТП, далі відбувається перевірка на працездатність цього варіанту за допомогою цільової функції. У разі невідповідності спроектованого варіанту здійснюється аналіз причин невідповідності і ухвалюється рішення по зміні цього варіанту в бажаному напрямі.

У самому елементарному випадку, коли виріб, що виготовляється, по своїй конструкції є достатньо простим, як правило, структура ТП або його елементів (операції, переходи) вже задані. В цьому випадку використовують таблиці вживаності.

При складніших по своїй конструкції виробів, що виготовляються, генерується набір варіантів маршрутів, з яких шляхом перебору варіантів рахункової множини вибирається раціональний (не завжди оптимальний). При переборі кожна проба включає пошук (створення) чергового варіанту, ухвалення рішення про заміну раніше вибраного варіанту подальшим і про продовження або припинення пошуку нових варіантів. Для повного перебору варіантою структури з кінцевої множини необхідно задавати всі елементи множини. Такий перелік має вид каталогу типових варіантів структури (маршрутів обробки) у вигляді БД.

Коли унаслідок складності деталей варіантів структур ТП, що виготовляються, виявляється достатньо великим, при рішенні задачі структурного синтезу виходять з практики використання досвіду промисловості, знань технолога і експертних оцінок. У цих випадках доцільне формування моделі експерта, яка включає формалізовану сукупність відомостей, зокрема, про побудову маршрутів обробки, вибір технологічного обладнання, ріжучого інструменту, дані про застосування технології розмірної обробки, закономірностей процесів обробки і правила використання в ситуаціях, що задаються, цих даних для ухвалення нових рішень.

При сталій номенклатурі деталей, що виготовляються, при синтезі структури ТП (маршруту, операції) початковою інформацією є групи (підгрупи) деталей, що виготовляються. Створюється БЗ (модель експерта), що включає правила створення узагальненої структури маршрутів операцій (переходів), причому маршрути виконуваних операцій (переходів) мають типову послідовність і зміст.

У тих випадках, коли номенклатура деталей, що виготовляються, нестала, початкову інформацію доцільно представляти у вигляді базового (типового)

конструктивну, комплекту деталей і конструктивного збагачення, що виготовляється (окремих конструктивних елементів). Таким чином, процес виготовлення комплекту деталей можна представити як сукупність ТП на базові конструктивні і переходи на обробку елементів конструктивного збагачення. Такий підхід дозволяє перейти до блоково-модульного принципу проектування ТП і підготовки програм, що управляють, для верстатів з ЧПУ. Модель експерта включає правила, що враховують співвідношення конструктивних ознак базового типового образу (конструктивну) і конструктивних елементів збагачення, що визначає проектування типового або одиничного ТП. Синтез ТП відбувається при виділенні його з узагальненої структури, або проектується одиничний ТП. Машина виводу в обох випадках дозволяє мати альтернативні варіанти, що дозволяють враховувати умови, що змінюються, в ПС.

При вирішенні завдань структурного синтезу в множині з великим, але кінцевим числом варіантів, за умови, що їх число і зміст відомі, використовують алгоритми направленої перебору (наприклад, алгоритми дискретного лінійного програмування, алгоритми послідовні ітераційні і ін.). Якщо це можливо, такі завдання зводять до завдань повного перебору шляхом обмеження області пошуку на стадії формування початкових даних.

Оптимальна стратегія володіє тією властивістю, що при будь-якому шляху досягнення деякого стану (наприклад, технологічного переходу) подальші рішення повинні належати оптимальній стратегії для частини маршруту обробки поверхні, що починається з цього стану (технологічного переходу). При вирішенні подібних завдань зручно використовувати методи динамічного програмування. Загальною особливістю всіх моделей динамічного програмування є зведення завдань ухвалення рішень до отримання рекурентних співвідношень (визначення значень собівартості на кожному кроці рішення задачі, що відповідає оптимальній стратегії вибору маршруту), які можна представити як

$$Q_n(P_i) = \text{extr} [Cp_{i,j} + Q_{(n-1)}(P_j)],$$

де Q_i — собівартість i -ї операції або переходу.

Перехід P , передує переходу P .. При вирішенні завдань структурного синтезу методом динамічного програмування досягається знаходження оптимального варіанту в умовах визначеності області допустимих переходів на кожному кроці переходу.

У складніших випадках, коли заздалегідь визначити допустимість переходів неможливо, або в умовах невизначеності складу технологічних операцій слід використовувати експертні системи. Експертні системи є типовими системами штучного інтелекту, в яких БЗ містить відомості, отримані від людей-експертів в технологічній області знань. Труднощі формалізації процедур структурного синтезу привели до популярності застосування експертних систем при структурному синтезі ТП, оскільки в них замість виконання синтезу на базі формальних математичних методів здійснюється

синтез на основі досвіду і неформальних рекомендацій, отриманих від експертів.

7.6. Розробка структури і алгоритму процесу багато об'єктного технологічного проектування

Головною функцією інтелектуального управління є автоматизація процесів аналізу, ухвалення рішень і на їх основі здійснення оперативного управління, в основі якого лежить використання поточної інформації про керований об'єкт. Під управлінням в даному випадку розумітимемо процес, що забезпечує точну і узгоджену в часі взаємодію окремих частин і елементів ВВС, відповідно до задалегідь розробленої програми управління на основі ухвалених рішень. Методологічною основою штучного інтелекту є евристичне програмування, при цьому програма будується на базі прийнятих евристик.

У процес управління ВВС входять як складові частини технологічне і організаційне управління. Мета технологічного управління — набуття необхідних властивостей виробів; мета організаційного управління — формування ВВС для реалізації спроектованих ТП. Для цього необхідне забезпечення синхронізації взаємодії ресурсів всіх РВС, що входять в ОВС.

Особливістю управління у ВВС є:

- обмеження часу ухвалення рішень;
- швидка і часта зміна параметрів ОВС.

У теорії інтелектуальних систем синтез реалізується за допомогою експертних систем

$$C_e = \langle БД, БЗ, И \rangle$$

де БД — база даних, що включає відомості про базові елементи; БЗ — база знань, що містить правила конструювання варіантів структури; И — інтерпретатор, що встановлює послідовність застосування правив з БЗ.

Системи штучного інтелекту засновані на знаннях, відокремлених від процедурної частини програм і представлених в одній з характерних форм. У них використовують поняття прикладної області, використання знань в природному вигляді, експлуатація без програмістів. Такими формами можуть бути продукції, фрейми, семантичні мережі. Що реально функціонують в сучасних САПР системи з базами знань найчастіше відносяться до класу ЕС. Реалізація систем штучного інтелекту ґрунтується на роботі із знаннями: їх уявленні, зберіганні, використанні і так далі

Віртуальна виробнича система відноситься до розряду складних систем, які характеризуються великим числом елементів і, що особливо важливе, великим числом взаємозв'язків елементів. При створенні ВВС має місце змішане проектуванні — комбінації низхідного (є в наявності окремі готові компоненти системи) і висхідного (є сформульовані вимоги до всієї системи в цілому). При такому проектуванні виникає необхідність прогнозування тих, що не дістають даних з подальшим їх уточненням, тобто послідовного наближення до остаточного рішення (ітераційне проектування).

Структура ММ процесу багато об'єктного технологічного проектування є послідовністю процедур пошуку раціональної конфігурації ВВС. Первинною процедурою в структурі є визначення необхідних ресурсів ОВС з урахуванням необхідної технічної гнучкості за умовами виконання ПЗ, з одного боку, і мінімуму задіяних шарів — з іншою. Пошук починається з тих шарів, до складу яких входить специфічне технологічне обладнання, необхідне для виконання відповідних технологічних операцій (лазерна, електроерозійна і т. д.) при виготовленні деталей, що входять в ПЗ.

Вибрані шари вважаються базовими. Далі наступною процедурою в структурі ММ є пошук (або вибір з базових) тих шарів, які здатні забезпечити останні, поширеніші технологічні операції. Таким чином, формується варіант компоновки ВВС.

Наступною процедурою в структурі ММ є визначення якнайкращого варіанту послідовності запуску ПЗ у ВВС на виконання. При цьому для кожного варіанту здійснюється перевірка на працездатність, виходячи із заданих вимог. При отриманні варіанту, не відповідного вимогам, відбувається формування і перевірка наступного варіанту і так далі до знаходження переважного.

При формуванні чергового варіанту спочатку варіюють термінами запуску і за відсутності позитивного рішення міняють конфігурацію ВВС. На першому етапі виконується спроба знаходження найбільш переважного шару і лише за відсутності позитивного результату переходять до наступного етапу — зміни кількості шарів. В цьому випадку вибір починається з шарів, здатних забезпечити найменший приріст собівартості виготовлення (мінімальні транспортні витрати, мінімальна собівартість виконання робіт і т. д.) при забезпеченні необхідних технологічних можливостей.

Досягши прийняттого варіанту, на основі отриманих даних, формується інформація управління у ВВС. У зв'язку з великим комплексом складних процедур в структурі ММ технологічного проектування при формуванні ВВС важливе місце займає правильний вибір методів моделювання, а також їх комбінація залежно від конкретних виробничих умов, що складаються.

Для пошуку переважних рішень при формуванні ВВС слід використовувати еволюційні методи, засновані на статистичному підході до дослідження ситуацій і ітераційному наближенні до шуканого стану системи. Такий підхід дозволяє знаходити рішення, близькі до оптимальних (раціональним) за прийнятний час.

Одним з основних еволюційних методів є метод на основі генетичних алгоритмів. Використання генетичних алгоритмів при формуванні ВВС дозволяє вирішувати завдання з неметризованими керованими параметрами (наприклад, лінгвістичні).

Представлення структури формованою ВВС у вигляді хромосоми дозволяє генерувати ряд її можливих варіантів, що є аналогом популяції. Шляхом послідовних процедур таких, як кросовер, мутації, верифікація, селекція, виявляється можливо шляхом послідовного утворення нових поколінь

хромосом отримувати варіанти структур ВВС, що послідовно наближаються до оптимального. При отриманні варіанту структури, задовольняючій заданій цільовій функції, процес вважається завершеним і, отриманий результат приймають за робочий.

Формування команд, що управляють, здійснюється на основі імітаційного моделювання, що використовує як параметри моделі параметрів сформованої ВВС. На рис. 7.10 представлений алгоритм процесу ММ багато об'єктного технологічного проектування з інтелектуальним управлінням у ВВС.

Основними процедурами алгоритму є синтез масиву технологічних операцій, виконання яких необхідне для виконання ПЗ. На основі масиву технологічних операцій відбувається формування безлічі допустимих технологічних маршрутів, частина яких не є оптимальною. Далі здійснюється процедура формування робочої конфігурації ВВС, яка є ітераційною. В ході генерації варіантів структури проводять імітаційне моделювання, за наслідками якого оцінюють черговий варіант на основі цільових функцій. При отриманні робочого варіанту проводиться процедура формування командної інформації і управління ВВС. Інакше здійснюється наступна ітерація на основі схвалюваного рішення по зміні параметрів модельованої системи.

Інтелектуалізація процесів управління передбачає формування командної інформації, що базується на використанні системи понять прикладної області, використанні знань в природному вигляді, експлуатація без програмістів. Реалізація концепції інтелектуалізації спирається на розвинені методи роботи із знаннями: їх уявлення, зберігання, використання і так далі. При цьому під знаннями розуміють систему понять прикладної області, а також зв'язок з їх уявленнями у формальній моделі; структуру даних інформаційної моделі прикладної області; математичні моделі, використовувані при проектуванні; правила ухвалення рішень. Інтелектуальній системі досить задати постановку завдання у вигляді необхідного результату і умов його отримання. Послідовність операцій, необхідних для отримання результату, визначається системою автоматично.

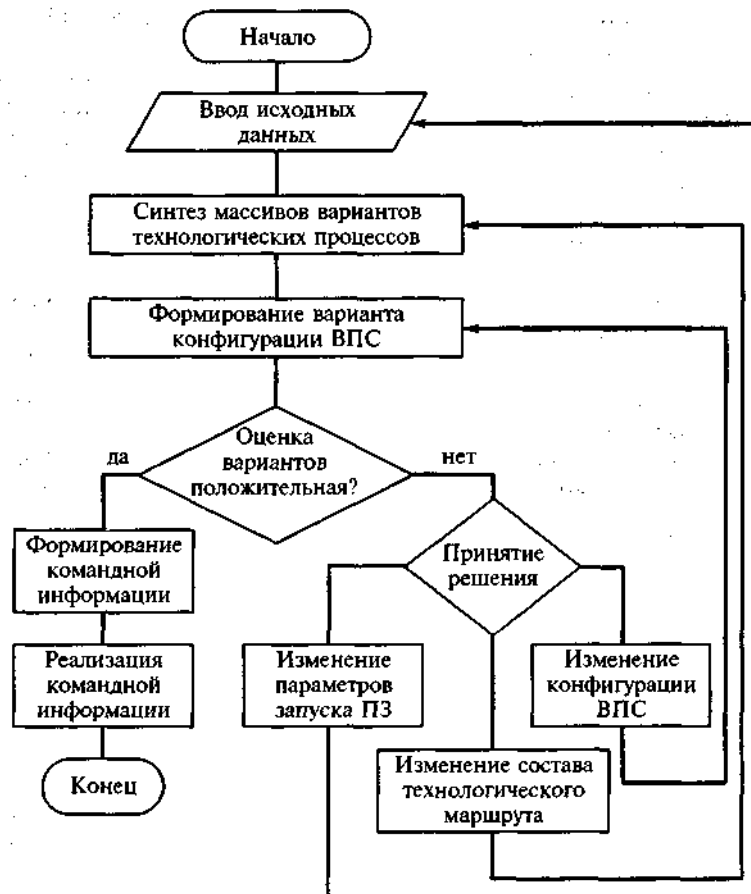


Рис 7.10. Алгоритм ММ процесу багато проектного технологічного проектування з інтелектуальним управлінням в ВВС

Інтелектуальне управління у ВВС при багато об'єктному технологічному проектуванні спирається на ухвалення рішень після визначення значень виходу імітованої системи, при відомих поточних значеннях входу, параметрів системи і обурень, тобто можна записати:

$$H = F(G, Z, U)$$

де F — оператор (програма) імітаційної моделі; Y — вектор вихідних параметрів; G — вектор вхідних параметрів; Z — вектор параметрів стану системи; U — вектор параметрів обурюючих чинників.

Імітаційна модель є дискретною, тому в моменти часу t , перехід системи з (M) -го в i -е стан відбувається стрибком і є неподільною подією. На інтервалі часу $[t_r, t_M]$ вказані вище параметри не міняють своїх значень, отриманих у момент часу t_r .

Входами моделі дискретної ПС є параметри ПЗ, виходом системи — інформація об конфігурації ВВС і терміни запуску ПЗ в неї на виконання. У реальних ПС мають місце обурення, пов'язані з такими нештатними подіями, як збої і відмови обладнання і оснащення. Віртуальна виробнича система може знаходитися в одному з допустимих станів, при якому вектор параметрів стану системи не виходить за межі обмежень (фонд вільного часу, склад технологічного обладнання використовуваних частин РВС і т. д.).

Для успішного формування ВВС в РВС рекомендується використовувати CALS-технології, які дозволяють ефективніше створювати специфікації з інформацією для програмно керованого технологічного обладнання, достатньою для виготовлення виробу. Цей процес може бути поширений в часі і просторі між багатьма організаційно автономними проектними підрозділами.

Серед безперечних досягнень CALS-технології слід зазначити легкість розповсюдження передових проектних рішень.

Лекція №8

Тема лекції: «МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В РОЗПОДІЛЕНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ»

План лекції

8.1. Загальні положення щодо математичного моделювання процесів у розподілених виробничих системах

8.2. Моделювання процесу функціонування сукупності виробничих систем

Конспект лекції

8.1. Загальні положення щодо математичного моделювання процесів у розподілених виробничих системах

Критерієм ефективності при виконанні ПЗ є собівартість і (або) продуктивність ТП. З одного боку, ТП повинен повністю забезпечувати виконання всіх вимог робочого креслення і технічних умов на виготовлення заданого виробу, з іншої — відповідно до економічного принципу виготовлення виробу повинне вестися з мінімальними витратами праці і з мінімальними витратами виробництва.

За наслідками аналізу можливих варіантів ТП виготовлення виробу вибирають варіант, що забезпечує найбільшу продуктивність і мінімальну собівартість. З варіантів з продуктивністю вище або рівною заданою вибирають варіант з мінімальною собівартістю.

До складу інформаційного забезпечення входять дві частини—постоянна, що описує послідовність технологічних операцій, і змінна, що описує тип технологічного обладнання і момент запуску на нім чергової технологічної операції. Перша частина інформаційного забезпечення формується на основі спроектованих ТП. Друга частина інформаційного забезпечення визначається поточним станом ПС. Ця частина інформаційного забезпечення є динамічно змінною. Отримання інформації про поточний стан ПС здійснюється за допомогою інформаційного потоку Z .

Інформаційним потоком Z є масив даних по всьому парку технологічного обладнання, ПС, що становить.

Кожна одиниця технологічного обладнання ПС орієнтована на виконання операцій по підтримці певного базового конструктиву, проте доцільно передбачати резервування підтримки інших, допустимих по технологічних ознаках, базових конструктиву. При призначенні завантаження тієї або іншої одиниці технологічного обладнання виходять із заданої технологічної операції обробки і з поточного стану виробничої системи. Таким чином, поставлене завдання має характер багато параметричний з широкою номенклатурою. Концептуальні рішення при розробці ММ повинні бути такими, щоб ця варіація не погіршувала її достовірність.

При побудові ММ як основні параметри, що характеризують стан технологічного обладнання ПС, використовують:

- час звільнення технологічного обладнання після завершення попередньої технологічної операції;
- час переналагодження технологічного обладнання з однієї технологічної операції на іншу;
- тривалість періоду часу виконання заданої операції;
- можливість використання повністю або частково елементів наладки від попередньої технологічної операції для виконання подальшої.

Основними параметрами, характеризуючи ми ПЗ, є:

- безліч технологічних операцій, виконання яких необхідне для отримання кожного ПЗ;
- можливі варіанти послідовностей виконання технологічних операцій при виконанні кожного ПЗ;
- терміни виконання ПЗ;
- вимоги до термінів виконання ПЗ (штрафні санкції, взаємозв'язок з іншими ПЗ і т. д.).

Перераховані параметри використовуються при виробленні стратегії послідовності запуску ПЗ у ВВС. Стратегія запуску передбачає формування послідовності моментів часу почала виготовлення окремих ПЗ. Ця послідовність є динамічною поряд, компоненти якого можуть міняти порядок проходження і свої значення залежно від виробничої ситуації, що складається у нинішній момент.

При розробці стратегії запуску виникає завдання динамічного впорядковування термінів запуску ПЗ, для вирішення якої необхідна розробка ММ, що відображає процес взаємодії компонентів ПС при виконанні ПЗ. Реалізація такої ММ за допомогою ЕОМ дозволяє здійснювати оперативне управління послідовністю і часом запуску того або іншого ПЗ у ВВС. Управління цим процесом може здійснюватися як в автоматичному режимі, так і в режимі діалогу «человек—машина».

У цих умовах обробка даних є багатопараметричним завданням в умовах динамічно змінних параметрів ПС. Специфікою поставленого завдання є її цілочисельність і, отже, неможливість використання традиційних методів лінійного програмування. Застосування методів повного або направленої перебору в переважній більшості випадків виявляється неможливим в реалізації унаслідок великої розмірності і невизначеності структури процесу, навіть за допомогою високопродуктивних ЕОМ.



Рис. 9.1. Информационная модель функционирования отдельного производственного модуля

Рис 8.1. Інформаційна модель функціонування власного виробничого модуля

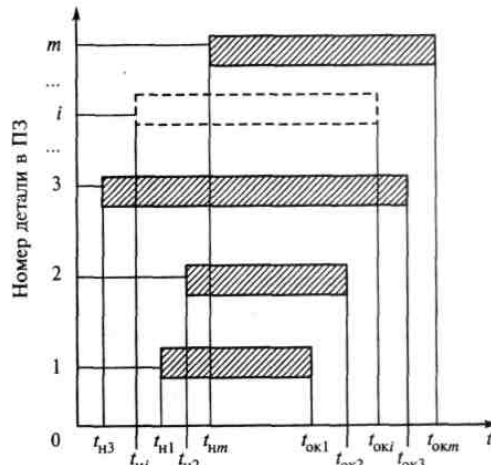


Рис 8.3. Модель розподілу виробничих задач у часі

8.2. Моделювання процесу функціонування сукупності виробничих систем

Один з найбільш важливих етапів при визначенні раціонального завантаження технологічного обладнання—пошук оптимальної стратегії розподілу ПЗ у ВДС. Пошук оптимальної стратегії є багатокроковим завданням і передбачає використання ітераційних методів.

При розробці методики визначення оптимального завантаження технологічного обладнання необхідно враховувати, що дане завдання має ряд особливостей:

- 4) велику розмірність завдання;
- 5) залежність подальшої виробничої ситуації не тільки від попередніх умов, але і від тих, що складаються важко передбаченим чином нових умов.

Для вирішення поставленого завдання доцільний метод, що отримав назву блокове програмування. Цей метод є сукупністю прийомів, що дозволяють замінити вирішення завдань лінійного програмування великого об'єму вирішенням ряду лінійних екстремальних завдань меншого об'єму. В цьому випадку виявляється можливим зниження необхідної потужності обчислювальних процедур, забезпечення раціональнішого використання пам'яті ЕОМ, композити загального завдання на ряд завдань, специфіка вирішення яких допускає використання методів рішення, непридатних для її вирішення в цілому.

При блоковому програмуванні часто використовують метод розкладання, який є блоковим аналогом методу послідовного поліпшення плану. Ідеї блокового програмування не тільки спрощують обчислювальні процедури, але у ряді випадків розширюють область застосування лінійного програмування.

Надалі, при визначенні завантаження технологічного обладнання, необхідно для кожного конкретного ПЗ слідувати цій стратегії. Повна реалізація такого підходу можлива за умови, що у будь-який момент часу пропускна спроможність ПС ширша, ніж потрібний для одночасного обслуговування всього об'єму ПЗ.

При пошуку варіанту оптимального завантаження технологічного обладнання слід виходити з термінів запуску кожного ПЗ і враховувати його оптимальний маршрут. При плануванні завантаження технологічного обладнання ПЗ з ранішим терміном поступає на технологічне обладнання згідно його маршруту обробки. Далі вибирається наступний ПЗ з пізнішим терміном запуску і йому призначається технологічне обладнання згідно його оптимальному маршруту і так далі. Нарешті, для чергового ПЗ складається ситуація, коли у зв'язку із завантаженням технологічного обладнання оптимальнішими замовленнями виявляється неможливим забезпечити виконання технологічної операції згідно його оптимального маршруту. Тоді цей ПЗ прямує на вільне технологічне обладнання.

Вибір якнайкращого варіанту здійснюється в середовищі не тільки вільного технологічного обладнання, але і в середовищі технологічного обладнання, зайнятого ПЗ, з нижчим рівнем пріоритету. У випадку якщо доцільним виявляється використання технологічного обладнання, зайнятого замовленням з нижчим пріоритетом, виконання цього замовлення і його місце займає замовлення з вищим пріоритетом.

Таким чином, забезпечуються умови для обробки термінових замовлень, близькі до оптимальних. Решта замовлень виконується в режимі проходження у міру звільнення технологічного обладнання. Значущість цього режиму для кожного конкретного ПЗ визначається його пріоритетом.

При моделюванні процесу завантаження технологічного обладнання на кожному кроці здійснюється фіксація часу надходження виробничих

замовлень на виконання. Якщо на деякому етапі виявляється, що заміщений технологічний процес виконання конкретного ПЗ по своїй тривалості не забезпечив випуску хоч би однієї деталі, здійснюється повернення до цього моменту часу і зняття цього технологічного процесу з розгляду на цьому етапі.

Аналогічно поступають і при появі нового ПЗ. Повернення до відповідного моменту часу передбачає перерахунок стану ПС в тій частині, яка міняється, виходячи з термінів запуску знов ПЗ, що поступив. Зокрема, якщо його терміни раніше, відбувається повний перерахунок завантаження технологічного обладнання, якщо пізніші, то перерахунок взагалі не проводиться.

Лекція №9

Тема лекції: «БАГАТООБ'ЄКТНЕ АВТОМАТИЗОВАНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМ УПРАВЛІННЯМ У ВІРТУАЛЬНІЙ ВИРОБНИЧІЙ СИСТЕМІ»

План лекції

9.1. Основні етапи багато об'єктного технологічного проектування

9.2. Інформаційне забезпечення автоматизованого технологічного проектування

9.3. Методичне забезпечення багато об'єктного технологічного проектування

9.4. Інтелектуальне управління процесами технологічного проектування

9.5. Приклади реалізації багато об'єктного автоматизованого технологічного проектування у віртуальній виробничій системі

Конспект лекції

9.1. Основні етапи багато об'єктного технологічного проектування

Рішення задачі скорочення часу на технологічну підготовку виробництва і випуск нових виробів, особливо малими партіями, знижує як собівартість виготовлення нової продукції, так і час від появи нових конструкторських розробок до їх впровадження в промислові зразки. Це, у свою чергу, забезпечує підвищення їх конкурентоспроможності і дозволяє оперативно реагувати на зміну споживчого попиту. Для вирішення цього завдання необхідно визначити сукупність необхідних методів і засобів утворення маршрутів проєктирования— послідовностей проєктних операцій і процедур, ведучих до досягнення поставленої мети. При цьому методи побудови послідовностей проєктування визначаються типом проєктних завдань.

Основою для здійснення багато об'єктного технологічного проектування служать вже існуючі РВС, що орієнтовані на випуск своїх ПЗ і мають фонд вільного часу свого технологічного обладнання. Технологічне обладнання, що має фонд вільного часу, є ресурсами ПС, необхідними для функціонування ВВС. На основі інформації про ресурси ПС оперативно формується конфігурація (що можливо змінюється в часі), максимально відповідна вимогам виконуваних ПЗ. Особливість такого підходу полягає у використанні елементів інтелектуального управління, що дозволяє приймати рішення по зміні конфігурації ВВС і формуванню інформації, що управляє, в реальному масштабі часу з мінімальною участю людини-оператора.

Багатооб'єктне технологічне проектування з інтелектуальним управлінням в РВС включає: методика проектування ТП, методику забезпечення цілеспрямованої генерації можливих варіантів конфігурації ВВС, методику

здійснення верифікації варіантів, що генерували, і відбору кращих, а також методичку ухвалення рішення, на основі якого здійснюється управління процесом конфігурації ВВС в часі. У зв'язку з тим що ухвалення рішення і формування на його основі дії, що управляє, відбувається на основі складних творчих процесів, управління повинне будуватися як інтелектуальне.

Таким чином, концептуальна ідея побудови ВВС полягає в мобільній організації тих, що тимчасово функціонують об'єктно-орієнтованих ПС для виконання поточних ТП на базі РВС. Іншими словами, за наявності деякого ПЗ необхідна стратегія виконання їх в РВС, що мають фонд вільного часу і орієнтованих, у свою чергу, на випуск інших, різних по своїх параметрах виробів. При цьому виконання спроектованих ТП не повинне негативно позначатися на термінах і собівартості випуску основний для цих РВС продукції.

Реалізація ідеї досягається за рахунок формування ВВС раціональної конфігурації, що дозволяє виконувати ПЗ в терміни, задані, що не перевищують, але близькі до них і з мінімальною собівартістю. Такий підхід забезпечує відсутність матеріальних перебудов при формуванні ПС для виконання ПЗ, мінімальні витрати на зберігання готової продукції і мінімальні об'єми використовуваних ресурсів ОВС. Використання вільного технологічного обладнання РВС, орієнтованих на виконання своїх планових технологічних процесів, забезпечує істотне зниження часу і трудомісткості технологічної підготовки виробництва.

Дані про наочну область, до якої відноситься об'єкт, про існуючі його структури, що розробляються, відомі або прогнозовані відносини і зв'язки між елементами і властивостями об'єкту і зовнішнього середовища є середовищем, що породжує. Сукупність інформаційних потоків, утворених інформацією про ПЗ і ОВС, утворюють середовище, що породжує, необхідне для генерації варіантів конфігурацій ВПС.

На етапі ухвалення рішення, відповідно до вимог і обмежень більш високого рівня, ухвалюється рішення про виконання деякого об'єму ПЗ. На етапі проектування проводиться аналіз вибраного ПЗ, розробка ТП у вигляді набору маршрутів, описів і т. п., вибір обладнання, оснащення і тому подібне. На етапі планування складається план виготовлення за відповідною технологією на технологічному устаткуванні, що становить ВВС. На етапі придбання здійснюється фактичне придбання сировини, напівфабрикатів, що комплектують, інформації, необхідних для виробництва продукту за відповідною технологією. На етапі виробництва реалізується план виготовлення деталей, в результаті якого виконується ПЗ. На етапі контролю якості готового продукту здійснюється порівняння продукту з його специфікацією і сповіщення про невідповідність, якщо такі є. На етапі постачання готовий продукт, що пройшов контроль якості, прямує споживачеві.

Функції, що виконуються на перерахованих етапах, взаємозв'язані і можуть використовувати загальні або різні дані.

При рішенні задачі формування ВВС необхідне створення і використання БД, що містять інформацію, отриману на основі наукових положень технології

машинобудування; методах математичного моделювання, системно-структурного аналізу; теорій інформації, множин, математичної логіки, управління, автоматизованого проектування і технології програмування.

Модель системи багато об'єктного технологічного проектування дозволяє не тільки представити функції і види діяльності в автоматизованому виробництві, але є основою для його системного проектування. Модель базується на понятті «Кероване динамічне виробництво», в якій виконуються наступні послідовні етапи: ухвалення рішення, оцінка конструкції, технологічне проектування, верифікація, контроль проходження ПЗ через ВВС.

Математична реалізація моделей функціонування ВВС враховує, що сучасне гнучке автоматизоване виробництво базується на масовому застосуванні обчислювальної техніки, починаючи від ГВМ, що мають, як правило, вбудовані мікропроцесори, і кінчаючи автоматизованими робочими місцями конструкторів, технологів, диспетчерів, і так далі. Через фізичну розподілу цих компонентів об'єктивно виникає завдання створення відповідної розподіленої обчислювальної системи ЕОМ, що охоплює ділянки, цехи, заводи, галузі і так далі.

Ефективність управління реальної ПС залежить від послідовності і значень схвалюваних рішень, а також від оперативності отримуваної інформації. Для ухвалення необхідних рішень потрібне отримання відповідної інформації про ПС в реальному часі, а також про минуле або можливе майбутнє. Зважаючи на обмеженість часу на обробку інформації, що поступає, аналіз виробничої ситуації, що складається, і формування відповідної команди управління потрібний автоматизація виконання вказаних дій. Це приводить до необхідності використання моделей, що імітує основні дії оператора при управлінні ПС. Така система повинна володіти елементами інтелектуального управління.

На рис. 9.1 представлена структурна модель процесу визначення конфігурації ВВС. Генерація варіантів здійснюється на основі еволюційного методу, що використовує генетичні алгоритми. Для реалізації генерації варіантів був вибраний підхід, що отримав назву метод комбінування евристик. Цей метод дозволяє зменшити необхідну обчислювальну потужність всього генетичного алгоритму в цілому.

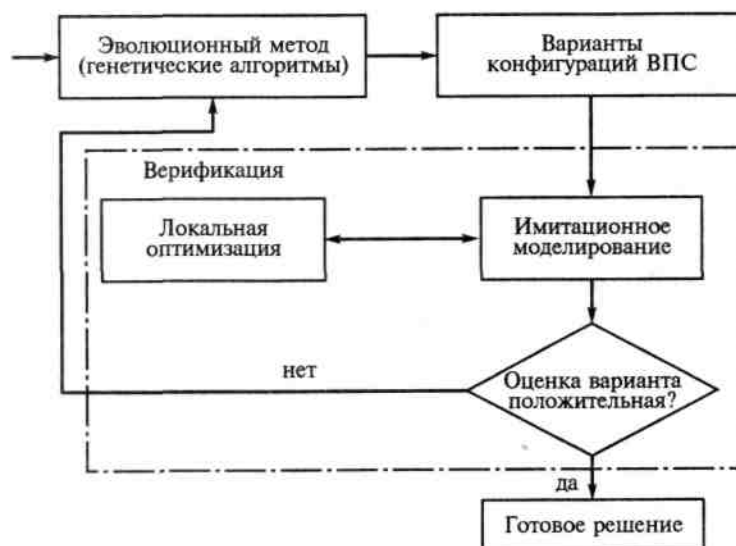


Рис 9.1. Структурна модель процесу формування конфігурації ВВС

Після закінчення формування чергових варіантів конфігурації ВВС виконується процес їх верифікації. Метою верифікації отриманих результатів є оцінка варіантів і вибір якнайкращого серед них. У випадку якщо на якому-небудь етапі генерації сформований варіант виявляється працездатним (відповідає умовам цільових функцій), то він розглядається як робочий, і на його основі формується команда на практичну реалізацію в ПС.

Верифікація є комплексною процедурою, в основі якої лежить імітаційне моделювання процесів, що протікають у ВВС. На окремих етапах імітаційного моделювання здійснюється локальна оптимізація, із застосуванням таких методів, як лінійне програмування, динамічне програмування і так далі. Вибір конкретного методу залежить від типу поточного завдання. Імітаційне моделювання дозволяє вичленувати із загального завдання моделювання окремі локальні, для вирішення яких можуть бути застосовані вказані методи. Метою цього етапу є спроба знаходження в рамках поточної конфігурації, що генерувала, ВВС якнайкращий варіант з погляду об'ємів використовуваних в ній виробничих ресурсів при забезпеченні заданих умов.

Якщо якнайкращий отриманий варіант конфігурації не відповідає заданим умовам, відбувається ранжирування популяції, що генерувала. На основі ранжирування популяції здійснюється формування нової популяції і далі процес повторюється до отримання робочого варіанту.

9.2. Інформаційне забезпечення автоматизованого технологічного проектування

Інформаційне забезпечення технологічного проектування включає інформацію по всьому комплексу питань технологічного проектування в умовах розподілених технологічних систем. Склад інформаційного забезпечення визначається наступними складовими частинами:

- технологічна інформація для БД;
- структура і склад БД для проектування ТП;
- взаємозв'язок БД і БЗ. Для зберігання інформації в пам'яті ЕОМ необхідна організація

БД і БЗ. В даний час найбільш ефективною формою їх побудови є побудова на базі реляційних відносин. Реляційна БД є взаємозв'язаною сукупністю таблиць, зв'язаних відносинами. Таблиці містять всю інформацію, яка повинна зберігатися в реляційній БД. Взаємозв'язок відносин в БД визначається наявністю загальних атрибутів.

Розділення даних (полів) по таблицях, в яких вони будуть асоційовані тільки з полями, що відносяться до конкретної теми. Термін «реляційна база даних» відноситься саме до такої БД, що містить безліч таблиць, причому кожна присвячена конкретному предмету або темі.

Існує три основні моделі реляційних БД:

- один до одного;
- один до багатьом;
- багато до багатьом. Модель «один до одного» означає взаємно-однозначну відповідність

і створюється в тому випадку, якщо обидва зв'язувані поля є ключовими полями або унікальними індексами (ключами). Зв'язок один до одного припускає, що кожен запис таблиці *A* відповідає єдиному запису таблиці *B*, і навпаки. Зв'язок цього типу використовується рідко. Як правило, велика частина інформації, зв'язаної так само, повинна знаходитися в одній таблиці. Проте з міркувань безпеки можна застосувати зв'язок один до одного, щоб рознести інформацію по двох таблицях. Наприклад, поля з інформацією, яка повинна бути захищена від випадкової модифікації користувачем цього БД і який повинен через специфіку своєї роботи модифікувати інші поля, можуть бути виділені у вигляді окремої, захищеної таблиці.

Модель «один до багатьом» передбачає зв'язок запису таблиці *A* з безліччю записів в таблиці *B*, але в ній тільки одна запис відповідає запису в таблиці *A*. Моделі такого типу використовують достатньо часто. Вона є зв'язком, наприклад, таблиці, що містить параметри ріжучого інструменту і таблицю, що містить дані про технологічні операції, в яких використовується цей інструмент. Така організація БД дозволяє виключити надмірність інформації, оскільки один і той же інструмент може використовуватися в різних операціях.

Складнішою моделлю організації відносин є модель «багато до багатьом». Характерною особливістю такої моделі є наявність в ній двох зв'язків «один до багатьом» з третьою таблицею. При такій побудові бази кожен запис в таблиці *A* співпадає з безліччю записів в таблиці *B*, і навпаки. Зв'язок такого типу можливий тільки через таблицю, що пов'язує, при цьому її ключове поле складають з ключових полів таблиць *A* і *B*.

При проектуванні ТП необхідна інформація витягується з БД. Для цього здійснюється процедура пошуку за заданою ознакою (простому або складеному ключу). Процедура пошуку в процесі проектування повторюється багато разів і

від ефективності способу її реалізації в значній мірі визначається час, що витрачається при отриманні необхідної інформації.

При нерациональній організації процесів пошуку відбуваються значні витрати машинного часу і зниження продуктивності процесів проектування. При кількості записів в БД, що досягають більше сотень, процеси отримання інформації можуть займати вельми тривалий час і гальмувати проектування ТП, що виявляється неприйнятним.

База знань є об'єднанням даних і процедур їх обробки. Вона володіє наступними властивостями: інтерпретується, класифікації, ситуативністю. Інформація для БД формується на основі наукових положень і практичних напрацювань в наочній області.

База даних містить інформацію про параметри технологічного обладнання, що становить конкретну ПС, або можливого для придбання. Ця інформація є необхідною при пошуку раціонального або оптимального маршруту при випуску продукції.

На рис. 9.3 представлена структура інформаційного забезпечення ММ, використовуваних для опису процесів, що протікають у ВВС. Всі джерела отримання інформаційного забезпечення можна розділити на три основні групи: процес обстеження технологічного обладнання, результати імітаційного моделювання взаємодії групи технологічного обладнання, результати математичного моделювання процесів обробки.

Отримання необхідної інформації можна забезпечити декількома шляхами:

1. Використання спеціалізованих контрольних-діагностичних перевірок (дослідницькі роботи з метою вдосконалення конструкції, контрольні при постановці і в процесі виробництва, діагностичні при виробництві і експлуатації) на базі ЕОМ, приладів цільового призначення з інтерфейс ними пристроями.
2. Накопичення експериментальних і статистичних даних (вхідний контроль комплектуючих виробів, вузлів в процесі виробництва, вихідний контроль, контроль стану обладнання в процесі експлуатації) на базі мікропроцесорних пристроїв, дисплея і функціональної клавіатури, незалежної пам'яті, інтерфейсу для зв'язку з цифровими і аналоговими вимірювальними приладами і з ЕОМ.
3. Моделювання процесів, що протікають безпосередньо на технологічному устаткуванні при виконанні спроектованих ТП.

Необхідну інформацію отримують в результаті проведення обстеження технологічного обладнання в ПС. Обстеження включає процедури хронометражу, вимірювання і контролю параметрів технологічного обладнання, збір статистичного матеріалу. Ця категорія параметрів відноситься до умовно-постійних, оскільки час їх зміни достатній велике (перевищує час виконання кожного з ПЗ). Ця інформація необхідна для формування ринку послуг за поданням технологічного обладнання РВС.



Рис 9.3. Структура інформаційного забезпечення

Частину інформаційного забезпечення не можна отримати шляхом прямих спостережень. В цьому випадку необхідно здійснювати моделювання процесів, що мають місце в конкретних умовах виробничої системи.

Окремі одиниці технологічного обладнання, складові ПС, можуть бути об'єднані в групу, і функціонувати у вигляді ділянки або робота технічного комплексу. Таке об'єднання вносить свої корективи при визначенні продуктивності і коефіцієнта завантаження технологічного обладнання, в нього що входить. Результат функціонування кожної одиниці технологічного обладнання виявляється взаємозв'язаним з процесами функціонування інших одиниць технологічного обладнання, що входить в це об'єднання.

Визначення параметрів функціонування кожної окремої одиниці технологічного обладнання необхідно розглядати у зв'язку з іншими одиницями технологічного обладнання, кожне з яких знаходиться в своєму поточному стані (простояє, виконує заданий технологічний процес і т. д.). Взаємовплив параметрів окремих одиниць технологічного обладнання обумовлений наявністю об'єднуючого елемента—робота, їх обслуговуючого.

При проведенні реалізації вказаної імітаційної моделі з використанням засобів обчислювальної техніки може виникнути необхідність в забезпеченні її параметрами безпосередньо процесу обробки на верстаті. Найбільш складним випадком обробки, з погляду отримання параметрів, є випадок контурної обробки. Непередбачуваність геометрії оброблюваного контуру, необхідна корекція при проведенні обробки — все це приводить до необхідності проведення моделювання процесу обробки. Тут необхідно відзначити високу складність подібних ММ, які в більшості випадків повинні реалізовуватися в реальному масштабі часу при забезпеченні необхідної точності розрахунків. Далі в розділі розглянуто питання створення такої моделі.

Отримання інформації на основі описаних шляхів забезпечує необхідну достовірність при максимальному виключенні випадкових чинників. Таке виключення забезпечується перш за все максимальною автоматизацією всіх процесів як пов'язаних з підготовкою виробництва, так і при безпосередньому функціонуванні технологічного обладнання.

Важливим виявляється етап підготовки виробництва, пов'язаний з переналагодженням технологічного обладнання. Наявність потрібної технологічної оснастки для проведення конкретного ТП, можливість швидкої зміни складу оснащення (можливо лише зміна її частини при збереженні базового конструктиву) і максимально простої процедури її настройки (можливо в автоматичному режимі) є важливою умовою передбаченості і можливості оперативного визначення параметрів процесів переналагодження. У свою чергу, наявність достовірної інформації про параметри виробничих процесів забезпечує необхідну достовірність результатів моделювання функціонування ВПС. Зменшенню вірогідності появи випадкових чинників, що знижують достовірність інформаційного забезпечення, служить впровадження у виробництво автоматизованого обладнання.

9.3. Методичне забезпечення багато об'єктного технологічного проектування

При проектуванні ТП на виконання ПЗ необхідно сформувати комплекти технологічних операцій, потрібних для їх виконання. У зв'язку з тим що процес формування ВВС визначається складом ТП, при їх проектуванні слід отримати всі можливі варіанти. Для цього масив технологічних операцій, складових ТП, повинен мати їх повний набір.

Початковими даними для побудови маршрутів служать конструктивні особливості деталі, технічні умови приймання, програма випуску, а також заданий вид заготовки. Деталь відносять до типового класу (вали, диски, корпусні деталі і ін.), керуючись прийнятим класифікатором. Залежно від умов дану конкретну деталь відносять до групи, підгрупи або типу відповідно до побудови використовуваної класифікації.

На рис. 9.4 представлена схема процесу синтезу маршруту обробки виходячи з конкретних конструктивних ознак деталі, що виготовляється, і складу ОВС. Така побудова дозволяє враховувати різні випадки, які можуть виникнути при формуванні маршруту обробки.

У простому випадку інформація про деталь може передбачати наявність одного-єдиного варіанту ТП (зазвичай для деталей простої конструкції). Тоді формується одновариантний ТП. У складніших випадках необхідно формувати сукупність варіантів ТП. При цьому використовують підходи, засновані на формуванні узагальненого маршруту, базових конструкцій з конструктивними збагаченнями і моделях експерта.

Формування узагальненого маршруту здійснюється для типових деталей, які можуть входити до складу ПЗ. Для цього формується ряд класів (груп, підгруп

або типів) деталей і для кожного з них розробляється узагальнений маршрут обробки. Узагальнений маршрут включає перелік операцій обробки, характерний для певного класу деталей. Цей перелік є впорядкованим і представляє безліч операцій існуючих індивідуальних маршрутів. Маршрути мають типову послідовність і зміст, причому на рівні підприємства враховуються його досвід і традиції, а також науково-технічні досягнення і перспективи розвитку галузі.

9.4. Інтелектуальне управління процесами технологічного проектування

Інтелектуалізація процесів управління передбачає формування командної інформації на основі системи понять прикладної області, використанні знань в природному вигляді, без залучення програмістів. Реалізація концепції інтелектуалізації спирається на розвинені методи роботи із знаннями: їх уявлення, зберігання, використання і так далі. При цьому під знаннями розуміють систему понять прикладної області, а також зв'язок з їх уявленнями у формальній моделі; структуру даних інформаційної моделі прикладної області; ММ, використовувані при проектуванні; правила ухвалення рішень. Інтелектуальній системі досить задати постановку завдання у вигляді необхідного результату і умов його отримання. Послідовність операцій, необхідних для отримання результату, визначається системою автоматично.

Рішення питання управління процесом функціонування ВВС пов'язане з формуванням інформації, що управляє, на основі ухвалення рішень по вибору оптимальної стратегії при зміні її конфігурації. Ухвалення рішень здійснюється на основі аналізу поточної виробничої ситуації.

На рис. 9.5 представлений характер зміни стану ВВС в часі і формованого вектора управління. Управління здійснюється виходячи з мінімізації використовуваних ресурсів ОВС і вимогам до термінів виконання тих або інших етапів виробничого процесу.

Управління процесом функціонування ВВС здійснюється по двох основних напрямках:

1. зміна послідовності завантаження технологічного обладнання;
2. зміна об'ємів використовуваних ресурсів ВВС.

Перший напрям передбачає зміну термінів запуску ПЗ на виконання, зміну маршруту проходження ПЗ по окремих робочих місцях ВПС. Зміна послідовності завантаження технологічного обладнання пов'язана із зміною маршрутів обробки і (або) термінів запуску ПЗ на виконання.

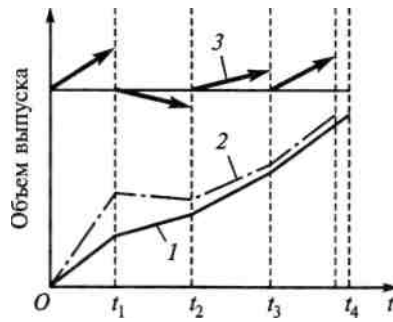


Рис. 9.5. Зміна стану ВВС в часі

Основна початкова інформація для вирішення завдання включає розмір партії, робоче креслення і технічні вимоги, креслення заготовки, відомості про наявне обладнання, базові поверхні заготовок і їх способи установки, дані по інструменту. Всі ці дані складають інформаційне забезпечення системи управління. Блок управління служить для розробки загального плану механічної обробки деталі і передачі рішення на певний блок формування операцій обробки поверхонь. У його основі закладений масив послідовності виконання операцій обробки різних поверхонь залежно від типу деталі і наявності термічної обробки. Блоки формування операцій обробки основних і не основних поверхонь можуть бути розроблені з різним ступенем деталізації залежно від типу виробництва. При детальній розробці блоків формування операцій необхідно враховувати багатоваріантність рішень.

Система складається з комплексу комп'ютеризованих підсистем, що включають конструкторське, технологічне проектування, технологічну підготовку виробництва, а також підсистему управління і синхронізації етапів їх функціонування. Вона забезпечує реалізацію принципу крізного автоматизованого циклу від конструювання до виготовлення виробів, що принципово підвищує ефективність використання ПС. Забезпечення високої ефективності досягається за рахунок підвищення продуктивності виготовлення готових виробів, істотного зниження часу виконання ПЗ (зменшення часу від моменту його надходження до моменту виходу готової продукції), зниження собівартості готової продукції.

У основі підсистеми конструкторської підготовки виробництва лежить розроблена структура оболонки автоматизованих класифікаторів на основі класифікації кодування конструктивних і технологічних ознак деталей, що виготовляються в умовах експериментального машинобудування.

Отримані результати дозволяють легко формалізувати інформацію про деталі, що виготовляються, автоматизувати проектування ТП і проводити їх багатоваріантну оцінку з метою отримання оптимального технологічного процесу.

Автоматизована побудова оптимальних операцій дозволяє формувати типові технологічні рішення, за допомогою яких можна компоувати ТП обробки. В результаті багатоваріантного проектування кожної операції формується граф можливих варіантів ТП обробки деталі. При складанні послідовності операцій слід враховувати розстановку обладнання в цеху (при

проектуванні маршруту для виробництва, що діє) для виключення зворотних рухів деталей по верстатах.

Побудову верстатних операцій передбачає визначення змісту переходів, їх послідовність і можливість поєднання переходів в часі. З урахуванням цього визначають проміжні допуски, режими різання і норму часу. Можливі варіанти оцінюють по продуктивності і собівартості, при цьому зберігається техніко-економічний принцип проектування. Побудова окремих операцій з використанням ЕОМ дозволяє мати типові технологічні рішення, за допомогою яких можна компоувати технологічний процес обробки.

При побудові будь-якої верстатної операції ММ представляється у вигляді сукупності формул, рівнянь, нерівностей, що відображають закономірності, властиві реальному ТП. Відмінність може бути в специфіці операції, цільовій функції (наприклад, максимальна продуктивність, технологічна собівартість і ін.) і вживаних математичних методів (регулярний пошук, направлений пошук, симплекс-метод і ін.).

Закономірності, властиві верстатній операції, можуть бути описані поряд кількісних зв'язків між параметрами, що характеризують точність, продуктивність, економічність механічної обробки, і чинниками, що впливають на їх величини. Закономірності верстатної операції обмежують область допустимих варіантів механічної обробки деталей і визначають критерій вибору оптимального варіанту зі всіх можливих.

Великого значення набуває розробка методів структурного і параметричного синтезу гнучких виробництв, сприяючих забезпеченню оптимальності схвалюваних рішень і отриманню істотного економічного ефекту. Всі етапи синтезу зрештою переслідують мету досягнення екстремуму цільової функції оптимізації.

Формування типових образів і фрагментів збагачень перш за все припускає облік даних, що приходять з технологічного рівня і конкретизують інформацію про елементи деталей на основі спільності робочого місця, оснащення, ріжучого інструменту, матеріалу. Це забезпечує оперативний зв'язок при інтерактивній взаємодії конструктора і технолога на базі обчислювальної системи. Такий підхід дозволяє забезпечити підвищення продуктивності праці як технолога, так і конструктора за рахунок комплексного впровадження комп'ютерного інтегрованого виробництва.

При проектуванні ТП важливе, щоб максимальна кількість технологічних операцій виконувалася на однотипному технологічному устаткуванні.

Технологічні операції обробки окремих елементів групуються виходячи із завантаження наявного технологічного обладнання. При цьому за основу береться найбільш часто використовуване обладнання, на якому, в рамках фонду вільного часу, виконуються операції, що немає типовими для нього. Таким чином, виявилось можливим вирішити два основні завдання оптимізації структури ВВС: підвищити продуктивність і понизити собівартість деталей, що виготовляються.

Зміна об'єму виробничих ресурсів, задіяних в поточній конфігурації ВВС, здійснюється за наслідками моделювання ходу виконання ТП у ВВС з аналізом прогнозованих термінів їх виконання. При отриманні негативного результату проводиться аналіз можливих варіантів виправлення ситуації в бажаному напрямку.

Якщо використання цього шляху не забезпечує виконання термінів, ухвалюється рішення по зміні конфігурації ВВС. Конфігурація ВВС змінюється шляхом проведення всього комплексу описаних вище процедур по знаходженню кращого варіанту конфігурації ВВС. В цьому випадку за основу початкового варіанту конфігурації ВВС береться остання версія робочого варіанту.

Аналіз і ухвалення рішення здійснюються при виникненні змін в поточній виробничій ситуації. Такими причинами можуть бути:

- 1) надходження нових ПЗ;
- 2) відмова окремих виробничих систем від виконання запланованих робіт;
- 3) відмова по технічних причинах окремих одиниць технологічного обладнання;
- 4) відхилення реальних термінів виконання заданих ПЗ від розрахункових на неприпустиму величину.

Використання такого підходу забезпечує оперативну реакцію системи управління зміною конфігурації ВПС на зміну поточній виробничій ситуації.

9.5. Приклади реалізації багато об'єктного автоматизованого технологічного проектування у віртуальній виробничій системі

З метою виключення суб'єктивного чинника підвищення продуктивності обробки і зниження трудомісткості переналагодження технологічного устаткування необхідно використовувати оснащення, інваріантне до параметрів оброблюваних заготовок, що змінюються. Крім того, таке оснащення повинне бути автоматизованим. Як приклади розглянемо випадки, що часто зустрічаються, при різних видах обробки.

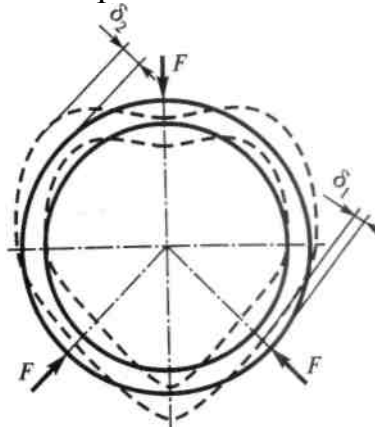


Рис 9.9. Деформація тонко змінного кільця при його закріпленні

При токарній обробці тонкостінних заготовок виникають погрішності форми і розмірів в результаті закріплення заготовки в патроні верстата. Закріплення

тонкостінної заготовки в трьохкулачковим патроні по зовнішній поверхні в місцях додатку затискного зусилля P (під куркульками) викликає прогинання кільця 5, а між куркульками — його витріщання 62 (рис. 9.9).

Величини δ_1 і δ_2 можна визначити по наступних формулах:

$$\delta_1 = 0.016 \frac{FR_{CP}^3}{EJ}$$

$$\delta_2 = -0.014 \frac{FR_{CP}^3}{EJ}$$

Тут F — зусилля затиску, Н; R — середній радіус, мм; E — модуль пружності матеріалу кільця (для сталі $E=2,104$ Н/мм²); J — момент інерції поперечного перетину кільця щодо нейтральної осі, мм⁴, для прямокутного перетину:

$$J = \frac{bh^3}{12},$$

де F — ширина кільця, мм; R — товщина кільця в поперечному перетині, мм.

Розрахункова величина погрішності форми

$$\Delta_\phi = 2(|\delta_1| + |\delta_2|),$$

Для ліквідації причин, що викликають вказані погрішності, можливе застосування автоматичного пристрою, що дозволяє уникнути деформації заготовки при її закріпленні. На рис. 9.10 представлена схема пристрою кріплення тонкостінних циліндрових заготовок. Воно складається з металевої частини і електронного блоку, що дозволяє здійснити функціонування в автоматичному режимі. Пристрій забезпечує підвищення точності за рахунок зменшення деформації кільця при закріпленні і забезпечення можливості регулювання зусилля затиску. Кріплення здійснюється за допомогою трьох пар кулачків, розташованих попарно в радіальних пазах корпусу пристрою для закріплення тонкостінних кільць, причому три зовнішні кулачки грають роль упорів, що самовстановлених, а внутрішні куркульки — притискних елементів, що переміщуються. При цьому зусилля затиску не передається на частину кільця, розташовану поза контактом з куркульками, що забезпечує відсутність деформацій. Установка зовнішніх кулачків забезпечується використанням електронної логічної схеми, яка відключає механізм синхронного переміщення зовнішніх кулачків при одночасному торканні останніх з поверхнею кільця, що затискається. На зовнішніх куркульках є опорні елементи, електрична ізолювані за допомогою діелектричних прокладок від самого кулачка.

Комутатор схеми забезпечує три режими роботи пристрою: затиск заготовки (двигун підключений до виходу підсилювача, що управляє), розтиск заготовки (двигун підключений до джерела напруги) і неробочий режим (двигун підключений до загального дроту електричної схеми). Внутрішні куркульки переміщуються поршнями силових циліндрів, пов'язаних з гідросистемою. Це дозволяє мати однакове зусилля притиску кожного внутрішнього кулачка і забезпечує можливість простого регулювання зусилля закріплення.

Пристрій містить корпус 5, виконаний з радіальними пазами. У пазах розташовані зовнішні куркульки 4 і внутрішні 1 куркульки. На зовнішніх

куркульках є діелектричні прокладки 4, через яких з ними сполучені опорні елементи 2. Притиск кільця здійснюється за допомогою внутрішніх кулачків, переміщених силовими гідроциліндрами 6. Зовнішні куркульки мають привід від двигуна 7, керованого електронною схемою, що включає два логічні елементи НЕ 8 і 9, логічний елемент І - НЕ 10, підсилювач 11, комутатор 12.

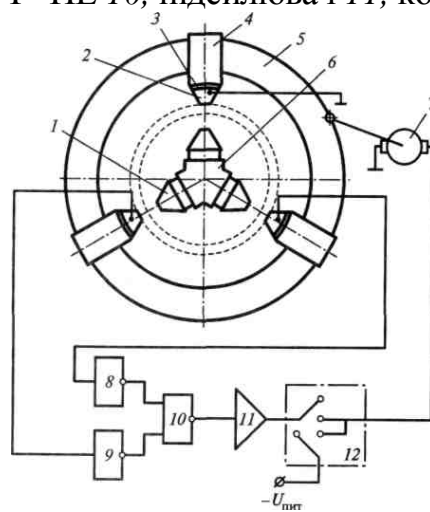


Рис 9. 10 Пристрій кріплення тонкостінних циліндричних заготовок

У момент постановки заготовки, що затискається, в пристрій зовнішні куркульки 4 знаходяться у відведеному стані. Внутрішні куркульки 1 введені в блок гідроциліндрів 6. Заготовка встановлюється в пристрій, і комутатор 12 підключає електродвигун до джерела живлення. На виході логічного елемента 10 вихідна напруга відповідає логічній одиниці, яке посилюється підсилювачем 11. На виході підсилювача 11 потужностей виявляється напруга, яка поступає на електродвигун. Робота електродвигуна викликає переміщення кулачків у бік затиску заготовки. Рух зовнішніх кулачків відбувається до контакту їх із заготовкою. При цьому під моментом контакту із заготовкою мається на увазі момент часу, при якому всі куркульки стосуються поверхні заготовки одночасно. При цьому відбувається перерозподіл значень напруги на вході логічних елементів 8 і 9.

Один з кулачків (на рис. 9.10 — верхній) електрично пов'язаний із загальним дротом електричної схеми, а два інших — з входами логічних елементів 8 і 9 відповідно. При замиканні через заготовку всіх трьох кулачків на виході логічного елемента 10 формується сигнал логічного нуля, двигун знеструмлюється і перестає переміщати кулачки. Далі при подачі робочого тіла від зовнішньої системи в блок циліндрів внутрішні куркульки 1 переміщуються по радіальних пазах до зіткнення з деталлю і притискають її до зовнішніх куркульок. Сила притиску визначається величиною тиск робочого тіла, її рівномірність досягається включенням гідро циліндра кожного з кулачків в загальну систему. При закінченні обробки і необхідності розтиску кільця всі операції проводяться в зворотній послідовності. Спочатку здійснюється відведення внутрішніх кулачків від деталі, а потім підключенням комутатора 12

до джерела живлення проводиться відведення зовнішніх кулачків і таким чином відбувається розтиск обробленої деталі.

Великі перспективи в даний час мають ТП, засновані на використанні як ріжучий інструмент лазерного променя. Унікальні можливості лазерної техніки дозволяють використовувати лазери в ТП контурної обробки як плоских, так і об'ємних заготовок. Подібні технологічні операції істотно підвищують продуктивність при обробці труднооброблюваних матеріалів. При цьому можна істотно зменшити витрату матеріалу за рахунок його економічного розкросу і так далі. Крім того, забезпечується обробка унікальних деталей з матеріалів, до яких унаслідок їх малої механічної міцності не можна прикладати зусилля різання.

Проте у багатьох випадках важко отримати необхідне рівномірне різання матеріалу по оброблюваному контуру. На краях заготовки виникають різного роду порушення поверхневого шару. Часто спостерігаються істотні відмінності якості поверхні різання по оброблюваному контуру навіть при однорідних фізико-хімічних характеристиках матеріалу в різних точках оброблюваної заготовки. Це вимагає застосування додаткових операцій механічної обробки (слюсарною, доводочною), що, у свою чергу, приводить до збільшення припуску матеріалу на обробку, зниженню продуктивності обробки і підвищенню собівартості готової продукції.

Істотне значення при цьому мають параметри ТП обробки. При лазерній обробці важливо забезпечити постійність енергії, що підводиться, світивши на всьому протязі оброблюваного контура. Для цього необхідно забезпечити постійність площі оброблюваного матеріалу, що може бути досягнуте фокусуванням світивши на певній глибині. Це завдання є тривіальним, якщо виходити з припущення, що реальна заготовка відповідає заданим геометричним параметрам.

Виробничі спостереження показують, що основною причиною нерівномірного різання є нестабільність технологічного зазору, визначуваного відстанню від сопла лазерної головки до оброблюваної поверхні заготовки. Це може бути наслідком відхилення положення поверхні заготовки від заданого, наприклад, при установці листового матеріалу на стіл верстата окремі його зони можуть бути деформовані в результаті дії власної маси, зусиль закріплення, умов зберігання і так далі.

Останнім часом використовують безконтактні методи контролю технологічного зазору, за допомогою фотоелектричних, електромагнітних і інших датчиків. Проте, маючи такі очевидні переваги, як відсутність контакту з оброблюваною поверхнею, датчики не забезпечують достовірною інформацією при визначенні технологічного зазору.

При обробці елементів поверхні заготовки, що знаходяться поблизу таких елементів поверхні, як «колодязі», пази, отвори і подібних до них, ці пристрої вносять істотні помилки при визначенні зазору.

Аналіз роботи безконтактних датчиків у виробничих умовах дозволив виявити причину виникнення помилок. Зазвичай датчик має чутливий елемент,

що фіксує технологічний зазор у вигляді деякої усередненої величини в обмеженій області. В цьому випадку технологічний зазор можна представити в наступному вигляді:

$$H = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} H_n}{n},$$

де H_n — технологічний зазор в деякій точці n контрольованої зони.

Звідси видно, що інформація про величину H є усередненим значенням реального зазору. Якщо у момент контролю в зоні вимірювання форма поверхні відрізняється від плоскої, то і інформація про величину H відрізнятиметься від реальної. Так, наприклад, при обробці поверхні поблизу отворів, «колодязів» інформація про величину H матиме істотно завищене значення. В цьому випадку виконавчий механізм наблизить сопло лазерної головки до оброблюваного матеріалу і обробка проводитиметься при меншому значенні H в порівнянні із заданою величиною.

Аналіз формули (9.20) показує, що з метою виключення помилки при визначенні величини H аналіз інформації слід проводити по окремих точках контрольованої зони. Для цього було виготовлене і апробоване сопло лазерної головки з датчиком, що має декілька зон вимірювання (у даному випадку чотири).

На рис. 9.11 представлена схема установки для виконання ТП з використанням лазерів. На торці сопла лазерної головки 3 розташовано розділене на окремі елементи обкладання датчика 2 визначення відстані між соплом лазерної заготовки і площиною оброблюваної заготовки 1. Заготовка пов'язана із загальним дротом електричної схеми. Кожен з окремих елементів обкладання датчика 2 пов'язаний з схемою відповідного керованого генератора 5. Вихід кожного керованого генератора пов'язаний зі своїм блоком порівняння частот 6, в якому здійснюється розрахунок і порівняння частоти імпульсів, що поступають, з кожного з керованих генераторів. Зразковий генератор 7 виробляє частоту імпульсів, яка визначається з умов оптимальних умов протікання конкретного технологічного процесу і встановлюється зовнішній ЕОМ, що управляє.

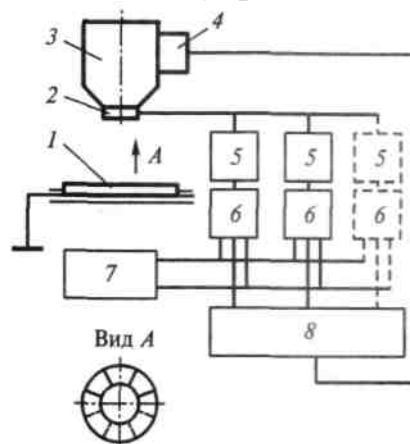


Рис 9. 11 Схема пристрою контролю технологічного зазору сопла лазерної головки

Для кожної окремо узятій частини зони обробки формується інформація про величину технологічного зазору:

$$H_i = \frac{\sum_{n_i=1}^{\infty} H_{n_i}}{n_i}$$

де i — індекс, відповідний конкретній частині зони обробки.

З формули видно, що якщо плоска частина заготівки, яка в даний момент часу обробляється, повністю перекриває хоч би одну з частин контрольованої зони, то, принаймні, одне із значень Показується істинним. Отже, при виробництві таких пристроїв слід прагнути до максимально можливого дроблення контрольованої зони на окремі частини.

Після отримання сформованої інформації для кожної частини зони обробки необхідно проаналізувати всю інформацію про оброблювану поверхню. Якщо зона обробки у нинішній момент часу знаходиться поблизу краю листа, «колодязя», то за дійсну величину приймають найменше зі всіх набутих значень H . Якщо зона обробки знаходиться поблизу елемента з приростом положення свого геометричного елемента у бік сопла лазерної головки, то за дійсну величину приймають найбільше значення H .

За відсутності поверхні із зміненою висотою щодо поверхні в зоні обробки за дійсне значення приймають середнє зі всіх отриманих, тобто

$$H = \frac{\sum_{m=1}^i H_m}{i}.$$

При визначенні дійсної величини H можливі різні способи зняття інформації за допомогою датчиків. Приведений вище спосіб відноситься до статичного способу зняття інформації. При цьому положення всіх чутливих елементів щодо сопла лазерної головки не міняється в часі і дискретизація площі контрольованої зони здійснюється за рахунок виконання чутливого елемента датчика у вигляді незалежних частин.

Разом з вказаним способом існує спосіб, заснований на динамічній дискретизації контрольованої зони. В цьому випадку єдиний чутливий елемент датчика виконується у вигляді сектора, що обертається, з віссю обертання, що проходить через вісь сопла лазерної головки. Кут його повороту контролюється і послідовно знімаються свідчення кожного разу при повороті чутливого елемента на 45° . Сектор, що обертається, має центральний кут, рівний 30° , частота його обертання складає 1200 об/хв. У вказаному датчику використовується ємкісний принцип формування інформації про величину H . Застосування розробленого пристрою в лазерних верстатах у багатьох випадках дозволяє істотно скоротити і навіть повністю виключити додаткову слюсарну обробку отримуваної поверхні.