

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 АПАРАТНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ЧПК

ТЕМА. ПАМ'ЯТЬ І ЗБЕРІГАННЯ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ

Понятійний апарат: пам'ять системи ЧПК, керуюча програма, програма обробки, оперативна пам'ять, постійна пам'ять, енергонезалежна пам'ять, флеш-пам'ять, пам'ять програм, пам'ять параметрів, буферна пам'ять, внутрішня пам'ять, зовнішній носій, USB-накопичувач, жорсткий диск, мережевий каталог, файл програми, номер програми, архівування, резервне копіювання, редагування програми, обсяг пам'яті, підпрограма, макропрограма.

1. Призначення пам'яті системи ЧПК

Пам'ять системи числового програмного керування призначена для зберігання інформації, необхідної для функціонування системи ЧПК та виконання технологічного процесу.

У пам'яті можуть зберігатися:

- керуючі програми;
- підпрограми та макропрограми;
- параметри системи ЧПК;
- корекції довжини та радіуса інструмента;
- нульові точки заготовки;
- параметри технологічних циклів;
- системні налаштування;
- дані діагностики;
- таблиці інструментів;
- інформація про стан верстата.

Керуюча програма складається з послідовності кадрів. Кожен кадр містить команди, які визначають переміщення робочих органів, режими різання, вибір інструмента та роботу допоміжних пристроїв.

Наприклад:

```
N010 G00 X20.0 Z5.0  
N020 G01 Z-10.0 F0.15  
N030 G00 X50.0
```

Під час виконання програми система ЧПК зчитує кадри з пам'яті, декодує їх і перетворює на сигнали керування приводами.

Сучасні системи ЧПК можуть працювати з кількома пристроями зберігання: внутрішньою пам'яттю, USB-носіями, мережевими каталогами та іншими накопичувачами. У системах Haas, наприклад, менеджер програм дає змогу працювати з пам'яттю верстата, USB-пристроями та мережевими ресурсами. [[haascnc](http://haascnc.com)]

2. Види пам'яті системи ЧПК

Оперативна пам'ять

Оперативна пам'ять, або RAM, використовується під час поточної роботи системи ЧПК. У ній тимчасово зберігаються:

- команди, які виконуються;
- проміжні результати обчислень;
- дані інтерполяції;
- сигнали від датчиків;
- параметри поточного циклу;
- службова інформація системи.

Оперативна пам'ять має високу швидкодію, але зазвичай є енергозалежною. Після вимкнення живлення її робочий вміст може бути втрачений.

Постійна та енергонезалежна пам'ять

Постійна пам'ять використовується для зберігання інформації, яка повинна зберігатися після вимкнення верстата.

До енергонезалежної пам'яті належать:

- ROM;
- EEPROM;
- флеш-пам'ять;
- твердотільні накопичувачі;
- інші типи пам'яті, передбачені виробником системи.

У такій пам'яті можуть зберігатися системне програмне забезпечення, параметри верстата, керуючі програми, корекції інструмента та нульові точки.

Пам'ять керуючих програм

Пам'ять програм призначена для зберігання файлів керуючих програм. Її обсяг визначає:

- кількість програм, які можна зберігати;
- максимальну довжину одного файлу;
- можливість використання підпрограм;
- можливість зберігання великих програм 3D-обробки;
- кількість даних, доступних для автоматичного виконання.

Обсяг пам'яті залежить від моделі системи ЧПК та встановлених опцій. Наприклад, для окремих конфігурацій Haas наводиться стандартний обсяг пам'яті 1 МБ, а з додатковими опціями він може досягати 750 МБ. Ці значення стосуються конкретної конфігурації та не є універсальними для всіх верстатів.[\[portalimages.blob.core.windows\]](https://portalimages.blob.core.windows.net)

Буферна пам'ять

Буферна пам'ять використовується для тимчасового зберігання частини програми, яка передається або виконується.

Буферизація забезпечує:

- безперервне виконання програми;
- попереднє зчитування наступних кадрів;
- плавний рух робочих органів;
- зменшення затримок під час обробки;
- виконання програм у режимі потокового передавання.

Особливо важливе значення буферна пам'ять має в DNC-режимі, коли програма надходить до верстата частинами.

3. Організація зберігання програм

Кожна керуюча програма має номер або ім'я файлу. У багатьох системах використовуються номери виду:

O0100
O0250
O1001

У різних системах ЧПК можуть застосовуватися різні формати файлів та розширення: .NC, .CNC, .MPF, .WPD та інші.

Програма може зберігатися:

- у внутрішній пам'яті пристрою ЧПК;
- на USB-накопичувачі;
- на внутрішньому жорсткому або твердотільному диску;
- у мережевому каталозі;
- на центральному сервері системи DNC.

Необхідно розрізняти:

- **активну програму** — програму, вибрану для виконання;
- **програму в пам'яті** — програму, записану у внутрішній пам'яті системи;
- **зовнішню програму** — файл на USB-носії або мережевому ресурсі;
- **програму в буфері** — частину програми, яка в цей момент передається або виконується.

4. Редагування керуючих програм

Редагування програми може здійснюватися безпосередньо на пульті оператора або на зовнішньому комп'ютері.

Основні операції редагування:

- додавання нового кадру;
- зміна координат;
- зміна подачі;
- зміна частоти обертання шпинделя;
- вставлення або видалення команд;
- копіювання фрагментів;
- пошук потрібного кадру;
- створення підпрограми;
- додавання коментарів;
- зміна номера програми.

Наприклад, у кадрі

N020 G01 X45.0 Z-12.0 F0.15

можна змінити координати X, Z або значення подачі F.

Перед редагуванням виробничої програми необхідно:

- створити резервну копію;
- зберегти початковий варіант;
- внести зміни в копію;
- виконати графічну або програмну перевірку;
- здійснити пробний запуск.

Під час редагування слід розрізняти зміну самої програми, зміну корекції інструмента та зміну нульової точки. Ці операції по-різному впливають на результат обробки.

5. Архівування та резервне копіювання

Архівування — це впорядковане довготривале зберігання програм та супровідної технологічної інформації.

Резервне копіювання — це створення додаткової копії даних для їх відновлення у випадку пошкодження або втрати.

До архіву доцільно включати:

- остаточну версію керуючої програми;
- креслення деталі;
- 3D-модель;
- технологічну карту;
- список інструментів;
- таблицю корекцій;
- систему координат;
- режими різання;
- дату створення;
- номер редакції програми.

Назва файлу повинна бути зрозумілою, наприклад:

DET_125_OP20_V03_2026.NC

Доцільно зберігати щонайменше три копії:

- робочу копію - у пам'яті верстата;
- резервну копію - на USB-носії або комп'ютері;
- архівну копію - у захищеному мережевому сховищі.

6. Обмеження обсягу пам'яті

Система ЧПК може мати обмеження щодо:

- загального обсягу пам'яті;
- кількості програм;
- максимальної довжини файлу;
- кількості кадрів;
- кількості підпрограм;
- кількості змінних;
- глибини вкладення підпрограм;
- швидкості передавання даних.

Особливо великими є програми для:

- тривимірного фрезерування;
- п'ятикоординатної обробки;
- виготовлення прес-форм;
- обробки лопаток;
- формування складних криволінійних поверхонь.

Для зменшення обсягу програми застосовують:

- підпрограми;
- макропрограмування;
- стандартні цикли;
- повторення команд;
- оптимізацію траєкторії;
- зменшення зайвих коментарів;
- потокове передавання у DNC-режимі.

Наприклад, якщо одна й та сама послідовність свердління повторюється багато разів, її можна оформити як підпрограму та викликати потрібну кількість разів. Це скорочує обсяг програми та спрощує її редагування.

Висновок. Пам'ять системи ЧПК забезпечує зберігання керуючих програм, параметрів, корекцій інструмента, підпрограм та іншої службової інформації. Для роботи використовують оперативну, постійну, енергонезалежну, буферну, внутрішню та зовнішню пам'ять. Обмежений обсяг пам'яті впливає на структуру програм і зумовлює використання підпрограм, циклів, макрокоманд та DNC-передавання. Надійна експлуатація системи передбачає регулярне редагування, перевірку, резервне копіювання та архівування керуючих програм.

Питання для самоперевірки

Яку інформацію зберігають у пам'яті системи ЧПК?

Чим відрізняються оперативна та енергонезалежна пам'ять?

Які операції можна виконувати під час редагування керуючої програми?

Для чого здійснюють резервне копіювання програм?

Як обмежений обсяг пам'яті впливає на структуру керуючої програми?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Одне правильне питання

| 3. Декілька правильних відповідей

1. Яке основне призначення пам'яті програм системи ЧПК? А. Зберігання керуючих програм Б. Охолодження електродвигуна В. Вимірювання діаметра інструмента	Що може зберігатися в пам'яті системи ЧПК? А. Керуючі програми Б. Корекції інструмента В. Поточні координати положення
2. Одне правильне питання Що називають резервним копіюванням? А. Створення додаткової копії даних Б. Видалення непотрібної програми В. Запуск програми в автоматичному режимі	4. Декілька правильних відповідей Які засоби дають змогу зменшити обсяг керуючої програми? А. Підпрограми Б. Стандартні технологічні цикли В. Збільшення кількості повторюваних кадрів

ТЕМА. КАНАЛИ ВВЕДЕННЯ ТА ПЕРЕДАВАННЯ ПРОГРАМ

Понятійний апарат: канал введення, канал передавання даних, інтерфейс, протокол обміну, керуюча програма, пульт оператора, клавіатура, зовнішній носій, USB-накопичувач, послідовне передавання, RS-232, Ethernet, TCP/IP, мережевий каталог, DNC, потокове передавання, drip-feed, приймання програми, передавання програми, швидкість передавання, baud rate, біт, байт, контроль парності, стоповий біт, кабель зв'язку, буфер, помилка передавання.

1. Загальна характеристика каналів введення

Канал введення та передавання програм забезпечує надходження керуючої інформації до системи ЧПК. Керуюча програма може вводитися:

- вручну з клавіатури пульта;
- з USB-накопичувача;
- через інтерфейс RS-232;
- через мережу Ethernet;
- від комп'ютера в DNC-режимі;
- із центрального виробничого сервера.

Вибір каналу залежить від:

- моделі системи ЧПК;
- обсягу програми;
- віку верстата;
- наявності відповідних роз'ємів;
- потрібної швидкості передавання;
- організації виробничої мережі;
- вимог до захисту інформації.

У сучасних верстатах можуть одночасно використовуватися внутрішня пам'ять, USB, Ethernet та інші засоби обміну даними. [portalimages.blob.core.windows.net]

2. Введення програми з клавіатури пульта

Введення з клавіатури є найпростішим способом створення короткої програми безпосередньо біля верстата.

Оператор може вводити:

- номер програми;
- номери кадрів;
- координати;
- подачу;

- частоту обертання шпинделя;
- номери інструментів;
- підготовчі та допоміжні функції;
- коментарі.

Переваги цього способу:

- не потрібен зовнішній комп'ютер;
- програма одразу записується до пам'яті системи;
- можна швидко внести невеликі зміни;
- зручно створювати прості навчальні програми.

Недоліки:

- невисока швидкість введення;
- можливість помилок оператора;
- незручність роботи з великими програмами;
- складність введення великої кількості координат;
- обмежені можливості під час створення складних 3D-траєкторій.

Введення з пульта доцільно використовувати для коротких програм, підпрограм, технологічних корекцій і навчальних завдань.

3. Передавання програм через USB

USB-накопичувач є одним із найпоширеніших засобів перенесення керуючих програм між комп'ютером і верстатом.

Загальна послідовність передавання:

- Створити програму на комп'ютері або отримати її з САМ-системи.
- Зберегти файл у форматі, сумісному із системою ЧПК.
- Перевірити назву файлу та структуру програми.
- Записати файл на USB-накопичувач.
- Підключити накопичувач до верстата.
- Відкрити менеджер програм.
- Вибрати необхідний файл.
- Скопіювати його у внутрішню пам'ять системи.
- Перевірити програму на екрані ЧПК.
- Виконати графічну або пробну перевірку.

USB-передавання зручне для:

- програм середнього та великого обсягу;
- резервного копіювання;
- перенесення програм між верстатами;
- передавання програм із САМ-системи.

У технічній документації Наас передбачено використання USB-накопичувачів і зовнішніх накопичувачів для роботи з програмами та даними верстата. [portalimages.blob.core.windows.net]

Під час використання USB необхідно враховувати:

- сумісність файлової системи;
- допустимий обсяг носія;
- формат назви файлу;
- кодування тексту;
- наявність службових символів;
- вимоги конкретної системи ЧПК;
- безпечне вилучення накопичувача.

4. Передавання через інтерфейс RS-232

RS-232 - це послідовний інтерфейс передавання цифрової інформації між комп'ютером і системою ЧПК. Його широко застосовували на верстатах попередніх поколінь.

Загальна схема передавання має вигляд:

комп'ютер → кабель RS-232 → послідовний порт системи ЧПК → пам'ять верстата.

Для роботи необхідно узгодити параметри послідовного обміну:

- швидкість передавання;
- кількість бітів даних;
- контроль парності;
- кількість стопових бітів;
- керування потоком;
- тип кабелю;
- номер порту.



Якщо параметри комп'ютера та системи ЧПК не збігаються, передавання може завершитися помилкою або пошкодженням тексту програми.

Зазвичай спочатку на верстаті активують режим приймання, а потім на комп'ютері запускають передавання файлу. У системі Siemens SINUMERIK для роботи через RS-232 може використовуватися програма SinuComPCIN.[\[manualslib\]](#)

Переваги RS-232:

можливість роботи зі старим обладнанням;
простота принципу передавання;
відсутність потреби у виробничій мережі;
можливість передавання програм без USB-порту.

Недоліки:

невисока швидкість;
обмежена довжина кабелю;
складне налаштування;
залежність від перехідників;
чутливість до електричних перешкод;
необхідність спеціального програмного забезпечення.

5. Передавання через Ethernet

Ethernet - це мережевий інтерфейс, за допомогою якого верстат підключають до локальної виробничої мережі.

Через Ethernet можна:

- передавати програми з комп'ютера;
- копіювати програми у внутрішню пам'ять ЧПК;
- працювати з мережевим каталогом;
- зберігати програми на сервері;
- передавати програми до кількох верстатів;
- здійснювати резервне копіювання;
- інтегрувати верстат із CAD/CAM-, DNC- та MES-системами.



Типова схема:

CAM-комп'ютер або сервер → мережа Ethernet → система ЧПК → пам'ять верстата.

Для підключення через Ethernet можуть налаштовуватися:

- IP-адреса;
- маска мережі;
- шлюз;
- ім'я мережевого ресурсу;
- права доступу;
- протокол обміну;
- каталог зберігання програм.

У деяких системах програму спочатку копіюють із мережевого каталогу у внутрішню пам'ять верстата. В інших системах можливе потокове передавання програми через мережу. Для систем Siemens описано передавання програм із мережевого диска до системи керування після встановлення відповідного з'єднання.[\[manualslib\]](#)

Переваги Ethernet:

- висока швидкість;
- можливість роботи з великими файлами;
- централізоване зберігання програм;
- підключення кількох верстатів;
- зручне резервне копіювання;
- інтеграція з виробничими інформаційними системами.

Недоліки:

- складніше налаштування;
- залежність від мережевого обладнання;
- необхідність захисту доступу;
- можливість втрати зв'язку;
- потреба в розмежуванні прав користувачів.

6. DNC-режим

DNC - це організоване передавання керуючих програм від комп'ютера або сервера до одного чи кількох верстатів.

Існують два основні варіанти роботи:

- передавання програми у внутрішню пам'ять верстата;
- потокове виконання програми без її повного запису у внутрішню пам'ять.

Потокове передавання часто називають drip-feed. У цьому випадку програма передається частинами, а система ЧПК тимчасово зберігає певний фрагмент у буферній пам'яті.

DNC-режим використовують, коли:

- файл дуже великий;
- внутрішньої пам'яті недостатньо;
- програми зберігаються централізовано;
- кілька верстатів отримують програми із сервера;
- необхідно швидко оновлювати технологічні дані.

DNC може працювати через RS-232, Ethernet або інший сумісний канал. У конкретних системах набір доступних способів залежить від моделі, програмного забезпечення та встановлених опцій.[\[portalimages.blob.core.windows\]](#)

Переваги DNC:

можливість виконання дуже великих програм;
централізоване зберігання;
зменшення кількості ручних операцій;
швидке оновлення програм;
зручність роботи з групою верстатів.

Недоліки:

залежність від комп'ютера або сервера;
залежність від стабільності каналу зв'язку;
необхідність спеціального програмного забезпечення;
ризик зупинки обробки у разі втрати зв'язку;
необхідність контролю версій програм.

7. Контроль правильності передавання

Після передавання програми необхідно перевірити, чи повністю та без помилок файл надійшов до системи ЧПК.

Перевіряють:

- номер або ім'я програми;
- перший кадр;
- останній кадр;
- наявність команди завершення програми;
- координати;
- подачі;
- частоту обертання шпинделя;
- номери інструментів;
- коректність службових команд;
- відсутність зайвих або втрачених символів.

Після передавання доцільно:

- відкрити програму в редакторі системи ЧПК;
- порівняти її з початковим файлом;
- виконати графічну перевірку;
- здійснити пробний прогін без різання;
- перевірити переміщення на зниженій подачі;
- проконтролювати повідомлення системи.

Особливу увагу потрібно приділяти відповідності постпроцесора конкретній моделі верстата та системі ЧПК. Програма, створена для одного типу керування, може містити несумісні команди для іншої системи.

Висновок. Керуючі програми можуть вводитися з клавіатури пульта, USB-накопичувача, через RS-232, Ethernet або DNC-систему. Клавіатура придатна для коротких програм, USB - для мобільного передавання та резервного копіювання, RS-232 — для старих верстатів, Ethernet - для сучасного мережевого обміну, а DNC - для великих програм і централізованого керування. Незалежно від способу передавання програму необхідно перевірити перед запуском, оскільки помилка під час обміну може призвести до неправильної траєкторії руху інструмента.

Питання для самоперевірки

Якими способами можна ввести керуючу програму в систему ЧПК?

Які переваги та недоліки має введення програми з клавіатури пульта?

Що таке інтерфейс RS-232 і де його застосовують?

Які можливості забезпечує передавання програм через Ethernet?

У чому полягає відмінність між копіюванням програми у пам'ять та її потоковим виконанням у DNC-режимі?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Одне правильне питання Який інтерфейс використовують для передавання програми з USB-флеш-накопичувача? А. USB Б. RS-232 В. Гідравлічний канал	3. Декілька правильних відповідей Які параметри можуть налаштовуватися під час передавання через RS-232? А. Швидкість передавання Б. Кількість бітів даних В. Тиск у системі охолодження
2. Одне правильне питання Який режим дає змогу виконувати велику програму частинами без повного запису у внутрішню пам'ять верстата? А. DNC Б. Ручний В. Режим редагування	4. Декілька правильних відповідей Які переваги має передавання програм через Ethernet? А. Робота з великими файлами Б. Можливість централізованого зберігання програм В. Повна відсутність необхідності перевіряти програму

ТЕМА. СИСТЕМИ КООРДИНАТ І ВІДЛІКУ

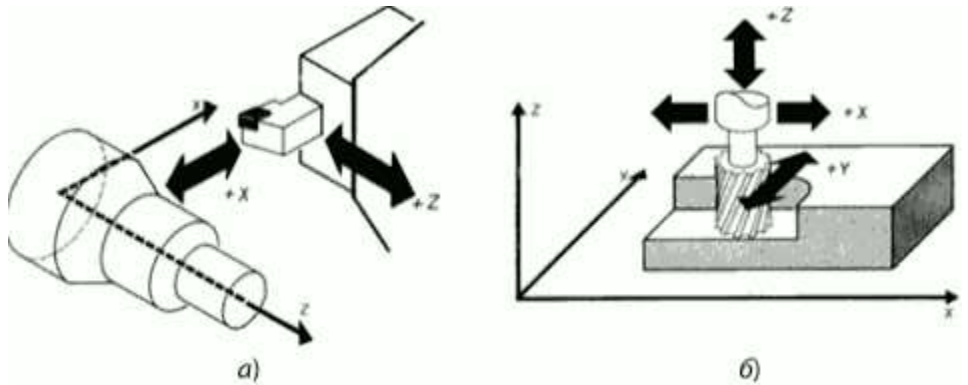
Понятійний апарат: система координат, координатна вісь, декартова система координат, машинна система координат, система координат деталі, система координат інструмента, машинний нуль, нуль верстата, референтна точка, нуль деталі, робочий нуль, абсолютна система відліку, відносна система відліку, абсолютні координати, інкрементальні координати, зміщення нуля, корекція інструмента, довжина інструмента, радіус інструмента, система G90, система G91, базова точка.

1. Призначення систем координат

Для автоматичного керування верстатом система ЧПК повинна однозначно визначати положення інструмента, заготовки та робочих органів. Це здійснюється за допомогою координатних систем. У більшості верстатів з ЧПК використовується прямокутна декартова система координат токарні верстати (а), фрезерні верстати (б).

Основними осями є: X; Y; Z.

На фрезерних верстатах вісь Z зазвичай пов'язана з віссю шпинделя, а осі X та Y лежать у площині стола. На токарних верстатах вісь Z зазвичай збігається з віссю шпинделя, а вісь X спрямована радіально.



Напрямки позитивного та негативного руху

визначаються стандартом, конструкцією верстата та положенням інструмента. Під час програмування необхідно користуватися системою координат конкретного верстата, оскільки напрямок руху інструмента не завжди збігається з напрямком руху стола або супорта.

2. Машинна система координат

Машинна система координат пов'язана з конструкцією верстата. Її початок визначає виробник обладнання, і оператор зазвичай не змінює його довільно.

У машинній системі координат визначаються:

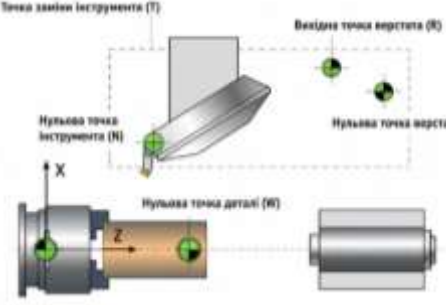
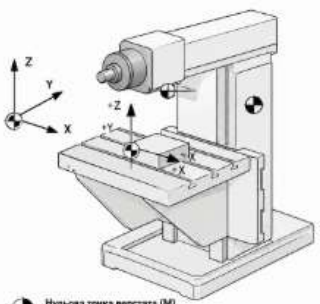
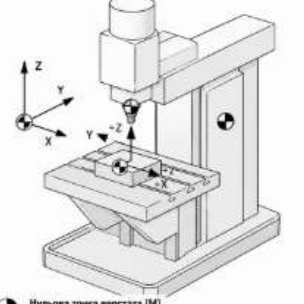
- положення робочих органів;
- межі переміщення осей;
- положення датчиків;
- координати референтної точки;
- машинні нульові точки;
- безпечні зони переміщення.

Машинний нуль часто позначають літерою M. Це фіксована точка, відносно якої система ЧПК визначає положення робочих органів верстата. У документації окремих еміщуються до датчиків або контрольних міток, після чого система відновлює машинні координати.

3. Нуль верстата та референтна точка

Терміни «машинний нуль» і «нуль верстата» у навчальній та виробничій документації часто використовуються як близькі за значенням. Водночас їх можна розрізнити:

- **машинний нуль** - початок машинної системи координат;
- **нуль верстата** - узагальнена назва базової точки, пов'язаної з верстатом;
- **референтна точка** - положення, до якого повертаються осі для визначення координат після ввімкнення системи.

Піктограма	Буквене позначення	Значення	
	M	Нуль верстата / Машинний нуль	Головна незмінна точка, яку жорстко задає виробник усередині робочої зони верстата. Від неї відраховуються всі інші переміщення.
	R	Вихідна точка / Референтна точка)	Позиція, до якої супорт під'їжджає під час калібрування після вмикання верстата, щоб система точно знала своє положення.
	W	Нуль заготовки/ Нуль деталі	Початок координат, який обирає оператор або програміст на самій заготовці для зручності прив'язки розмірів з креслення.
	E	Нуль інструмента	Точка прив'язки на самому різальному інструменті (зазвичай вершина різця).
	B	Точка встановлення інструмента	Базова точка на держаці або гнізді револьверної головки, куди монтується інструмент.
	N	Точка зміни інструмента	Безпечна позиція, куди автоматично від'їжджає вузол з інструментами для безпечної заміни одного різця на інший.
 A		Розташування нульових точок на токарном (А), на фрезерних верстатах (Б)	
		 Горизонтально-фрезерний верстат  Вертикально-фрезерний верстат Вісь X – поздовжній рух стола (ліворуч / праворуч) Вісь Y – поперечний рух салазок (вперед / назад) Вісь Z – вертикальний рух шпиндальної бабки (вгору / вниз) Вісь X – поздовжній рух стола (ліворуч / праворуч) Вісь Y – поперечний рух стола (вперед / назад) Вісь Z – вертикальний рух шпинделя (вгору / вниз) Б	

Референтна точка може не збігатися з машинним нулем. Вона є зручною контрольованою позицією, за якою система відновлює правильний відлік координат.

Після проходження процедури базування система ЧПК може правильно визначати положення кожної осі та контролювати переміщення в межах робочої зони.

4. Система координат деталі

Система координат деталі використовується безпосередньо під час технологічного програмування. Її початок називають нулем деталі або робочим нулем.

Нуль деталі вибирають у технологічно зручній точці, наприклад:

- у центрі заготовки;
- на торцевій поверхні;
- у куті заготовки;
- на осі симетрії;
- у центрі отвору;
- на базовій поверхні.

Вибір нуля деталі залежить від конструкції деталі, способу базування та зручності програмування.

У системі координат деталі задають:

- координати контурних точок;
- положення отворів;
- глибини обробки;
- початкові та кінцеві точки руху;
- положення технологічних елементів.

У навчальних матеріалах з програмування CNC машинна система координат використовується для фіксованих положень самого верстата, а система координат деталі — для опису положень, що належать до конкретної заготовки. [[mitsubishielectric](http://mitsubishielectric.com)]

5. Зміщення нуля деталі

Нуль деталі фізично встановлюється на заготовці, але система ЧПК повинна знати його положення відносно машинного нуля. Для цього вводять зміщення нуля.

Зміщення нуля - це відстань між машинним нулем і нулем деталі за відповідними координатними осями.

У багатьох системах ЧПК для цього використовують робочі системи координат, наприклад:

G54

G55

G56

G57

Конкретна кількість і позначення систем координат залежать від виробника.

Загальний взаємозв'язок можна подати так:

$$\mathbf{r}_M = \mathbf{r}_W + \Delta_{WM},$$

де:

- $\mathbf{r}_M$ — положення точки в машинній системі координат;
- $\mathbf{r}_W$ — положення тієї самої точки в системі координат деталі;
- Δ_{WM} — зміщення нуля деталі відносно машинної системи.

Наприклад, якщо нуль деталі зміщений від машинного нуля на 300 мм по осі X і на 100 мм по осі Y, система ЧПК враховує це зміщення під час перетворення програмних координат у машинні переміщення.

6. Система координат інструмента

Система координат інструмента пов'язана з його робочою точкою. Для різального інструмента такою точкою може бути:

- вершина різця;
- центр сферичної фрези;
- кінцева точка свердла;
- центр торця інструмента;
- центр інструментальної осі.

Положення робочої точки визначається з урахуванням:

- довжини інструмента;
- радіуса інструмента;
- радіуса вершини різця;
- напрямку інструментальної осі;
- корекцій, записаних у таблиці інструментів.

Під час фрезерування система може компенсувати радіус інструмента, щоб запрограмована траєкторія відповідала контуру деталі, а не траєкторії центра фрези.

Під час токарної обробки враховують положення вершини різця та радіус її заокруглення. Неправильно введена корекція може спричинити похибку розміру або пошкодження деталі.

7. Абсолютна система відліку

В абсолютній системі кожна координата визначається відносно одного фіксованого початку координат - нуля деталі.

Для абсолютного програмування зазвичай використовують команду:

G90

Наприклад, якщо інструмент послідовно переміщується через точки:

P1: X10 Y10

P2: X40 Y10

P3: X40 Y30

то кожна точка задана відносно одного й того самого нуля деталі.

Переваги абсолютної системи:

кожна точка має однозначні координати;
легко перевірити положення точки на кресленні;
зміна одного кадру менше впливає на інші кадри;
зручно програмувати за координатами креслення.

Недоліком є те, що під час зміни нуля деталі або геометрії заготовки може знадобитися коригування багатьох координат.

8. Відносна, або інкрементальна, система відліку

У відносній системі кожне переміщення визначається відносно попередньої точки, у якій перебуває інструмент.

Для відносного програмування зазвичай застосовують команду:

G91

Якщо інструмент знаходиться в точці P_1 з координатами X10, Y10, а наступна точка розташована в X40, Y10, то відносне переміщення буде:

X30 Y0

Відносне програмування **зручно** використовувати для:

- повторюваних переміщень;
- простих контурів;
- обробки однакових елементів;
- свердління отворів із рівним кроком;
- опису довжин і приростів руху.

Недоліком є накопичення помилок або неправильне переміщення, якщо в одному з кадрів задано неправильний приріст.

9. Взаємозв'язок систем координат під час програмування

Під час виконання програми система ЧПК перетворює програмні координати у фактичні машинні переміщення.

Загальна послідовність така:

- Креслення визначає геометрію деталі.
- Технолог вибирає нуль деталі.
- Оператор установлює заготовку на верстаті.
- Вимірюється положення нуля деталі відносно машинної системи.
- У систему ЧПК вводиться зміщення нуля.
- У таблицю інструментів записуються його довжина та радіус.
- Керуюча програма задає координати в системі деталі.
- Система ЧПК враховує зміщення нуля та корекції інструмента.
- Приводи переміщують робочі органи у відповідне машинне положення.

Таким чином, програміст зазвичай працює із системою координат деталі, а система ЧПК автоматично пов'язує її з машинною системою координат і системою координат інструмента.

Висновок. Система координат верстата визначає положення робочих органів відносно машинного нуля, система координат деталі використовується для програмування геометрії заготовки, а система координат інструмента враховує положення його робочої точки та корекції. Абсолютна система визначає кожну точку відносно одного нуля, а відносна — відносно попередньої точки. Правильне встановлення машинного нуля, нуля деталі та корекцій інструмента є необхідною умовою точного виконання програми.

Питання для самоперевірки

Що називають машинною системою координат?

Чим відрізняються машинний нуль, нуль деталі та референтна точка?

Для чого вводять зміщення нуля деталі?

У чому полягає різниця між абсолютною та відносною системами відліку?

Як корекції інструмента впливають на фактичну траєкторію його робочої точки?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Одне правильне питання

Яка команда зазвичай використовується для абсолютного програмування?

А. G90

Б. G91

В. M30

3. Декілька правильних відповідей

Які системи координат використовуються під час роботи верстата з ЧПК?

А. Машинна система координат

Б. Система координат деталі

В. Система координат інструмента

Правильні відповіді: А, Б, В.

2. Одне правильне питання

Як називають точку, відносно якої програмують положення елементів деталі?

А. Нуль деталі

Б. Точка охолодження

В. Точка зміни мастила

Правильна відповідь: А.

4. Декілька правильних відповідей

Що необхідно враховувати під час установа нуля деталі?

А. Положення заготовки на верстаті

Б. Базові поверхні деталі

В. Колір корпусу верстата

Правильні відповіді: А, Б.

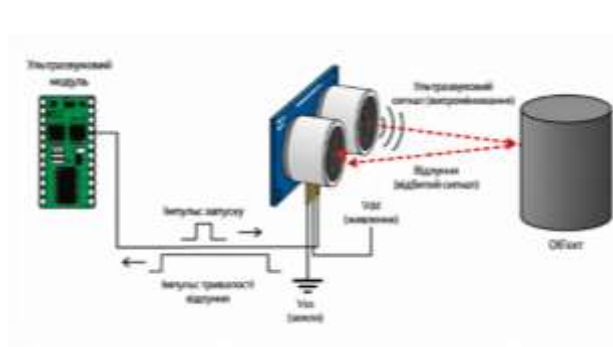
ТЕМА. ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕННЯ

Понятійний апарат: датчик положення, вимірювальний перетворювач, лінійний датчик, круговий датчик, енкодер, абсолютний енкодер, інкрементний енкодер, оптичний енкодер, індуктивний датчик, магнітний датчик, вимірювальна шкала, кодова доріжка, імпульс, фаза сигналу, референтна мітка, нульовий імпульс, роздільна здатність, точність, повторюваність, похибка вимірювання, зворотний зв'язок, система позиціонування, сервопривод.

Датчик - це електронний пристрій, призначений для вимірювання фізичних величин, таких як тепло, світло, тиск або рух, і перетворення їх у сигнали, які інша система може зчитувати, відображати або обробляти. Він діє як міст між реальним світом і цифровими системами. Машини та пристрої не можуть сприймати оточення або реагувати на нього без датчиків.



По суті, кожен датчик працює за тим самим принципом: він реагує на фізичний подразник. Він перетворює його на електричний сигнал, який можуть інтерпретувати електронні схеми або комп'ютерні системи.



1. Елемент виявлення: чутлива частина датчика реагує на зміни навколишнього середовища.
2. Трансдукція: фізичний сигнал, як-от тепло, тиск, світло, сила тощо, перетворюється на електричний сигнал, наприклад напругу, струм або опір.
3. Обробка сигналу: необроблений сигнал може бути посилений, відфільтрований або оцифрований для точної інтерпретації.
4. Вихід: нарешті, оброблений сигнал надсилається на контролер, дисплей або реєстратор даних.

Основні характеристики датчиків

Вибираючи або оцінюючи датчик, інженери зосереджуються на кількох критичних характеристиках:

- **Точність:** наскільки близьке вимірювання датчика до фактичного значення.
- **Чутливість:** найменша помітна зміна вимірюваної величини.
- **Діапазон:** мінімальне та максимальне значення, які датчик може надійно виміряти.
- **Час відгуку:** як швидко датчик реагує на зміну вхідного сигналу.
- **Повторюваність:** здатність отримувати стабільні результати за однакових умов.
- **Енергоспоживання:** важливо для-пристроїв із акумуляторним живленням або портативних пристроїв.
- **Лінійність:** ступінь, до якої вихідний сигнал зберігає пряmolінійне-відношення до вхідного.

- **Довговічність:** стійкість до агресивних факторів навколишнього середовища, таких як екстремальні температури, вологість, вібрація або пил.

2. Призначення датчиків положення

Датчик положення перетворює механічне переміщення робочого органа або обертання вала на електричний сигнал, який може обробляти система ЧПК.

Датчики положення використовують для:

- визначення координат робочих органів;
- контролю переміщення осей;
- замикання контуру позиціонування;
- визначення положення шпинделя;
- синхронізації рухів;
- контролю точності обробки;
- виявлення відхилень і несправностей;
- виконання процедури базування.

Система зворотного зв'язку порівнює задане положення з фактичним. Якщо між ними виникає різниця, контролер формує коригувальний сигнал для привода.

3. Класифікація датчиків положення

За характером вимірюваного переміщення датчики поділяють на:

- **лінійні;**
- **кругові**, або поворотні.
- За способом формування інформації:
- **абсолютні;**
- **інкрементні.**

За фізичним принципом дії:

- оптичні;
- індуктивні;
- магнітні;
- резольверні;
- ємнісні;
- лазерні та інші.

4. Лінійні датчики положення

Лінійний датчик безпосередньо вимірює переміщення вздовж координатної осі.

Він може бути встановлений:

- на станині та столі;
- на напрямній;
- біля кулькової гвинтової пари;
- на робочому органі верстата.

Перевагою безпосереднього вимірювання є можливість контролю фактичного положення стола або супорта з урахуванням похибок гвинтової передачі, люфтів і пружних деформацій.

Лінійні датчики використовують у високоточних фрезерних, координатно-розточувальних, шліфувальних і вимірювальних верстатах.

5. Кругові датчики положення

Кругові датчики вимірюють кут повороту вала. Їх встановлюють:

- на валу сервомотора;
- на ходовому гвинті;

- на шпинделі;
- на поворотному столі;
- у механізмах зміни інструмента.

Якщо відомі кут повороту вала, крок гвинта та передавальне відношення, система може визначити відповідне лінійне переміщення робочого органа.

Круговий датчик може контролювати положення двигуна або механізму, але похибки механічної передачі між датчиком і робочим органом можуть залишатися неврахованими. Тому у високоточних системах застосовують лінійні вимірювальні пристрої безпосередньо на робочому органі.

6. Інкрементні датчики

Інкрементний датчик формує послідовність імпульсів під час переміщення. Кількість імпульсів відповідає величині переміщення.

Для кругового інкрементного енкодера кількість імпульсів пов'язана з кутом повороту, а для лінійного - з величиною лінійного переміщення.

Часто використовують два сигнали А і В, зміщені за фазою. За послідовністю їх зміни система визначає напрямок руху. Додатковий сигнал Z може використовуватися як референтна мітка.

Переваги інкрементних датчиків:

- проста обробка сигналів;
- відносно невисока вартість;
- висока швидкодія;
- зручність використання у сервоприводах.

Недоліком є втрата поточного положення після

вимкнення живлення або втрати імпульсів. Для відновлення координат може знадобитися повторне базування.

7. Абсолютні датчики

Абсолютний датчик формує код, що відповідає конкретному положенню. Після ввімкнення системи кожна позиція може бути визначена без підрахунку всіх імпульсів від початкової точки.

Абсолютні датчики мають такі переваги:

- збереження інформації про положення після вимкнення живлення;
- відсутність необхідності повного підрахунку імпульсів;
- можливість швидкого визначення координати;
- зменшення ризику втрати положення через пропуск імпульсу.
- На практиці конкретна система все одно може вимагати процедуру перевірки або синхронізації після ввімкнення.

Роздільна здатність інкрементного датчика визначається кількістю імпульсів на оберт або на одиницю довжини, а для абсолютного датчика — кількістю цифрових розрядів або кодових позицій.[\[ncbi.nlm.nih\]](http://ncbi.nlm.nih)

8. Оптичні датчики положення

Оптичний датчик використовує джерело світла, вимірювальну шкалу та фотоприймальний елемент. У круговому оптичному енкодері на диску розміщені прозорі й непрозорі ділянки або кодові доріжки. Під час обертання диска світловий потік переривається, а фотоприймач формує електричні імпульси. У лінійній оптичній системі використовується шкала з періодичною структурою, уздовж якої переміщується зчитувальна головка.

Переваги:

- висока роздільна здатність;
- добра точність;
- можливість отримання цифрового сигналу;
- придатність для лінійних і кругових вимірювань.

Недоліки:

- чутливість до забруднення;
- вимоги до точності встановлення;
- можливе погіршення роботи через пил, мастило або стружку.

Оптичні та магнітні лінійні й кругові енкодери широко застосовуються для точного вимірювання лінійних і кутових переміщень.[ncbi.nlm.nih]

9. Індуктивні датчики положення

Індуктивні датчики використовують зміну електромагнітного поля під час переміщення металевого елемента або спеціального вимірювального осердя.

До індуктивних вимірювальних систем належать:

- індуктивні перетворювачі;
- резольвери;
- індуктивні лінійні енкодери;
- датчики наближення.

Їхні переваги:

- стійкість до пилу та забруднення;
- відсутність безпосереднього механічного контакту;
- надійність у промислових умовах;
- придатність для вимірювання положення та швидкості.

Сучасні індуктивні енкодери можуть застосовуватися для вимірювання положення осей у промисловій автоматизації.[renishaw]

10. Магнітні датчики положення

Магнітні датчики використовують магнітне поле, магнітну шкалу або систему чергування магнітних полюсів.

Під час переміщення зчитувальної головки змінюється магнітне поле, що перетворюється на електричний сигнал.

Переваги магнітних систем:

- стійкість до пилу та стружки;
- можливість роботи в забрудненому середовищі;
- відносно проста конструкція;
- безконтактне вимірювання;
- можливість виготовлення довгих вимірювальних систем.

Недоліком може бути вплив зовнішніх магнітних полів, зазорів та особливостей монтажу. Магнітні системи застосовують там, де оптичні шкали можуть швидко забруднюватися.

11. Точність, роздільна здатність і повторюваність

Роздільна здатність - це найменша зміна положення, яку здатен зафіксувати датчик.

Для інкрементного кругового енкодера приблизну кутову роздільну здатність можна

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{N},$$

визначити:

де N — кількість імпульсів на оберт.

Для лінійного датчика:

$$\Delta l = \frac{L}{N},$$

де L — вимірювальний крок або довжина шкали,
а N — кількість відліків.

Точність - це близькість виміряного значення до дійсного. Датчик може мати високу роздільну здатність, але недостатню точність через похибки шкали, температурне розширення, монтаж або електронні шуми.

Повторюваність характеризує здатність системи повертатися до одного й того самого положення за однакових умов.

На точність позиціонування впливають:

- роздільна здатність датчика;
- похибка вимірювальної шкали;

- люфти механізмів;
- пружні деформації;
- температура;
- вібрації;
- якість монтажу;
- похибка перетворення сигналу.

Висновок. Датчики положення забезпечують вимірювання лінійного або кутового переміщення робочих органів і формують зворотний зв'язок у системі ЧПК. Вони бувають лінійними, круговими, абсолютними та інкрементними. Оптичні датчики забезпечують високу точність, індуктивні добре працюють у промислових умовах, а магнітні відзначаються стійкістю до забруднення. Під час вибору датчика необхідно враховувати не лише роздільну здатність, а й точність, повторюваність, умови експлуатації та спосіб монтажу.

Питання для самоперевірки

Яке призначення мають датчики положення у системі ЧПК?

Чим відрізняються лінійні та кругові датчики?

У чому полягає різниця між абсолютним та інкрементним датчиком?

Який принцип дії оптичних, індуктивних і магнітних датчиків?

Чим відрізняються точність датчика та його роздільна здатність?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Одне правильне питання Який датчик безпосередньо вимірює переміщення вздовж координатної осі? А. Лінійний Б. Круговий В. Тахогенератор	3. Декілька правильних відповідей Які типи датчиків положення використовуються у системах ЧПК? А. Оптичні Б. Індуктивні В. Магнітні
2. Одне правильне питання Який датчик формує код, що відповідає конкретному положенню? А. Абсолютний Б. Інкрементний В. Тепловий Правильна відповідь: А.	4. Декілька правильних відповідей Що може впливати на точність вимірювання положення? А. Люфти механічної системи Б. Температурні деформації В. Колір кожуха датчика

ТЕМА. ДАТЧИКИ ШВИДКОСТІ ТА НАВАНТАЖЕННЯ

Понятійний апарат: датчик швидкості, датчик навантаження, тахогенератор, енкодер, імпульсний сигнал, частота імпульсів, сервопривод, контур швидкості, контур положення, зворотний зв'язок, частота обертання, крутний момент, сила різання, потужність різання, струм двигуна, навантаження шпинделя, тензодатчик, п'єзоелектричний датчик, перевантаження, граничне значення, адаптивне керування, захисне вимкнення.

1. Призначення датчиків швидкості

Датчик швидкості призначений для визначення швидкості обертання двигуна, шпинделя або іншого рухомого елемента.

У системі ЧПК датчик швидкості забезпечує:

- стабілізацію частоти обертання;
- контроль швидкості подачі;
- підвищення точності роботи сервопривода;
- виявлення відхилень швидкості;
- синхронізацію обертання та подачі;
- контроль розгону і гальмування;
- формування зворотного зв'язку.

У контурі керування задана швидкість порівнюється з фактичною. Якщо швидкість двигуна зменшується через збільшення навантаження, регулятор формує сигнал для її відновлення.

Зворотний зв'язок за швидкістю підвищує якість регулювання при зміні навантаження на валу двигуна.[\[cdn-static.nidec-netherlands\]](https://cdn-static.nidec-netherlands.com)

2. Тахогенератори

Тахогенератор - це електрична машина, вихідна напруга якої приблизно пропорційна частоті обертання вала.

Загальний принцип:

$$U_t = k_t \omega,$$

де:

- U_t — вихідна напруга тахогенератора;
- k_t — коефіцієнт тахогенератора;
- ω — кутова швидкість обертання.

За полярністю сигналу можна також визначати напрямок обертання.

Тахогенератор забезпечує інформацію про швидкість, але не визначає абсолютне положення вала. У технічних описах приводів зазначається, що тахогенератор формує напругу, пропорційну швидкості, але не надає інформації про положення вала.[\[cdn-static.nidec-netherlands\]](https://cdn-static.nidec-netherlands.com)

Переваги тахогенераторів:

- безперервний аналоговий сигнал;
- проста схема використання;
- швидка реакція;
- зручність для аналогових приводів попередніх поколінь.

Недоліки:

- зношування підшипників і щіток у конструкціях із механічним контактом;
- похибка через температурні зміни;
- відсутність інформації про положення;
- необхідність додаткового перетворення аналогового сигналу в цифровий.

3. Енкодери як датчики швидкості

Енкодер безпосередньо вимірює кутове положення, але його сигнал можна використовувати і для визначення швидкості.

Швидкість визначають за частотою імпульсів:

$$n = \frac{60f}{N}, \text{ де}$$

- n — частота обертання, об/хв;
- f — частота імпульсів;
- N — кількість імпульсів на оберт.



Інкрементний енкодер зазвичай має:

- канал А;
- канал В;
- референтний канал Z.

Канали А і В дають змогу визначити напрямок і величину переміщення, а канал Z використовується для референтної мітки.

Енкодер може застосовуватися:

- у контурі положення;
- у контурі швидкості;
- для синхронізації шпинделя;
- під час нарізання різьби;
- для орієнтації шпинделя;
- у системах вимірювання кута повороту.

Порівняно з тахогенератором енкодер може одночасно надавати інформацію про положення та швидкість. За швидкістю зміни положення за певний проміжок часу система обчислює фактичну швидкість.

4. Контури керування приводом

У сервоприводах верстатів з ЧПК можуть використовуватися кілька взаємопов'язаних контурів:

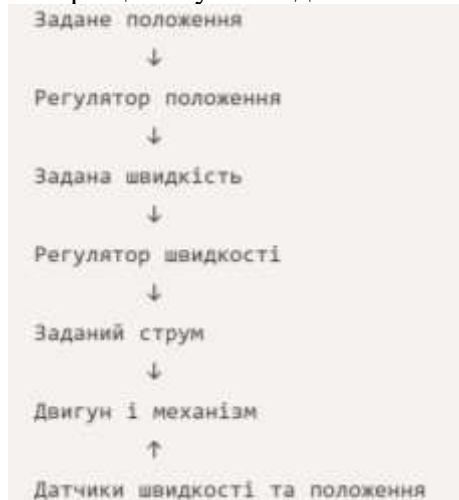
- контур положення;
- контур швидкості;
- контур струму або моменту.

Контур швидкості є внутрішнім і швидкодіє. Він порівнює задану та фактичну швидкість і коригує роботу двигуна.

Контур положення є зовнішнім. Він визначає, наскільки фактичне положення робочого органа відповідає заданому.

Контур струму контролює електромагнітний момент двигуна та його навантаження.

У спрощеному вигляді система працює так:



5. Датчики навантаження

Датчики навантаження призначені для оцінювання сили, моменту, потужності або іншого параметра, пов'язаного з навантаженням на верстат.

Під час механообробки навантаження може характеризувати:

- силу різання;
- крутний момент шпинделя;
- потужність різання;
- струм двигуна;
- навантаження на привод подачі;
- вібрації;
- пружні деформації елементів верстата.

Датчики навантаження використовують для:

- виявлення перевантаження;
- контролю стану інструмента;
- виявлення поломки інструмента;
- захисту шпинделя та приводів;
- адаптивної зміни подачі;
- контролю стабільності процесу;
- запобігання аварійному пошкодженню верстата.

6. Вимірювання навантаження за струмом двигуна

Одним із поширених непрямих способів оцінювання навантаження є вимірювання струму двигуна. У робочому діапазоні крутний момент двигуна приблизно пов'язаний зі струмом:

$$M \approx k_M I,$$

де:

M — крутний момент;

k_M — коефіцієнт моменту двигуна;

I — струм двигуна.

Для шпинделя механічна потужність визначається залежністю:

$$P = M\omega.$$

Тому за величиною струму та частотою обертання можна оцінити навантаження на привод.

Вимірювання струму є простим і недорогим методом контролю. Дослідження приводів шпинделя CNC показують, що струм двигуна може використовуватися для оцінювання навантаження на приводну систему. [asmedigitalcollection.asme]

Однак цей метод є непрямим. На показання можуть впливати:

- тертя в механізмах;
- прискорення та гальмування;
- холостий хід;
- температура двигуна;
- зміна частоти обертання;
- електричні перешкоди;
- стан механічної передачі.

7. Датчики сили та моменту

Для безпосереднього вимірювання сил можуть застосовуватися:

- тензодатчики;
- тензометричні кільця;
- п'єзоелектричні датчики;
- динамометричні столи;
- датчики крутного моменту;
- датчики деформації.

Тензодатчик змінює свій електричний опір під дією деформації. За величиною цієї зміни можна визначити силу або момент.

П'єзоелектричні датчики формують електричний заряд під дією механічного навантаження. Вони добре підходять для реєстрації змінної сили та швидкоплинних процесів.

Безпосереднє вимірювання сили є точнішим для дослідження процесу різання, але потребує спеціального встановлення датчика та складнішої електронної обробки.

8. Контроль навантаження під час обробки

Система ЧПК або спеціальна система моніторингу може порівнювати фактичне навантаження із заданим допустимим значенням.

Можливі рівні реагування:

- попереджувальне повідомлення;
- зменшення подачі;
- зупинка подачі;
- зупинка шпинделя;
- аварійне вимкнення;
- запис події в журнал діагностики.

Наприклад, якщо під час фрезерування припуск різко збільшився, зростає сила різання та навантаження шпинделя. Система може зменшити подачу, щоб не допустити перевищення допустимого моменту.

Якщо навантаження різко зменшилося, це може свідчити про:

- вихід інструмента із заготовки;
- поломку інструмента;
- відсутність заготовки;
- неправильне базування;
- втрату контакту під час обробки.

Для прийняття правильного рішення система повинна аналізувати не тільки абсолютне значення навантаження, а й характер його зміни в часі.

9. Адаптивне керування за навантаженням

Датчики навантаження можуть бути складовою адаптивної системи керування.

Загальна послідовність роботи:

1. Установлюється допустиме або оптимальне навантаження.
2. Датчик вимірює фактичний параметр.
3. Система порівнює фактичне та задане значення.
4. Визначається відхилення.
5. Змінюється подача або інший параметр обробки.
6. Процес повторюється в реальному часі.
7. Якщо навантаження невелике, подачу можна збільшити. Якщо навантаження наближається до граничного, подача зменшується.

Такий підхід дає змогу:

- ефективніше використовувати потужність верстата;
- скорочувати машинний час;
- стабілізувати процес різання;
- зменшувати ризик поломки інструмента;
- подовжувати строк його роботи;
- захищати обладнання від перевантаження.

10. Обмеження та вимоги до датчиків навантаження

Ефективність контролю залежить від:

- правильного розташування датчика;
- діапазону вимірювання;
- швидкодії;
- стійкості до перешкод;
- правильного налаштування порогів;
- урахування холостого навантаження;
- калібрування;
- температурної стабільності.

Порогове значення не можна встановлювати без урахування нормального навантаження під час розгону, врізання інструмента та зміни напрямку руху.

Надто низький поріг спричинятиме хибні спрацювання. Надто високий поріг може не забезпечити необхідного захисту.

Висновок. Тахогенератори формують сигнал, пропорційний швидкості обертання, але не визначають положення вала. Енкодери можуть використовуватися для визначення як положення, так і швидкості. Датчики навантаження контролюють силу різання, момент, потужність або струм двигуна. Їх застосовують для захисту обладнання, виявлення поломки інструмента, контролю режимів різання та реалізації адаптивного керування. Правильне використання датчиків швидкості та навантаження підвищує точність, надійність і продуктивність верстата з ЧПК.

Питання для самоперевірки

Яке призначення має датчик швидкості у контурі керування приводом?

Який сигнал формує тахогенератор?

Як енкодер може використовуватися для визначення швидкості?

Які параметри характеризують навантаження на привод або шпиндель?

Як система ЧПК може реагувати на перевищення допустимого навантаження?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Одне правильне питання

Який пристрій формує напругу, приблизно пропорційну швидкості обертання вала?

- А. Тахогенератор
- Б. Лінійна вимірвальна лінійка
- В. Кінцевий вимикач

2. Одне правильне питання

Який параметр можна використовувати для непрямого оцінювання навантаження двигуна?

- А. Струм двигуна
- Б. Колір стружки
- В. Довжина кабелю живлення

3. Декілька правильних відповідей

Які параметри можуть контролювати датчики навантаження?

- А. Силу різання
- Б. Крутий момент шпинделя
- В. Потужність або струм двигуна

4. Декілька правильних відповідей

Як система ЧПК може реагувати на перевантаження?

- А. Зменшити подачу
- Б. Зупинити шпиндель або подачу
- В. Автоматично збільшити навантаження без обмежень