

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан ФМТ

\_\_\_\_\_ Ю.А. Буренніков

Протокол засідання

Вченої ради ФМТ

№ \_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Манжілевський О.Д.

Опорний конспект лекцій

з дисципліни «Системи керування верстатами з ЧПК

та верстатними комплексами»

(електронний варіант)

для студентів спеціальності 7(8).05050301 – «Металорізальні верстати та системи»

Розглянуто та схвалено  
методичною комісією ФМТ  
Протокол засідання  
№ \_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
Заступник голови методичної комісії  
\_\_\_\_\_ О.В. Петров

Розглянуто та рекомендовано  
на засіданні кафедри МРВ та ОАВ  
Протокол засідання  
№ \_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
Завідувач кафедри МРВ та ОАВ  
\_\_\_\_\_ Р.Д. Іскович-Лотоцький

Вінниця 20\_\_

## РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА СТРУКТУРА СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

### Лекція 1 Вступ. Процес керування верстатами у ручному та автоматичному режимі. Групи виконавчих пристроїв верстата. Основні визначення та поняття

Керування МРВ – це вплив на його механізми та пристрої для виконання потрібного технологічного процесу обробки заготовки із заданими точністю, продуктивністю та собівартістю обробки.

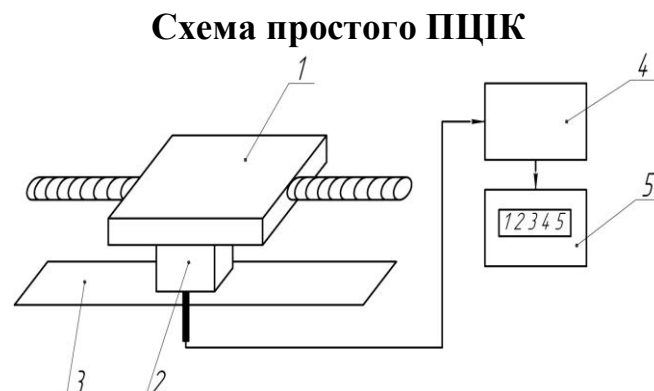
Керування верстатом складається з отримання інформації щодо мети керування, щодо результатів керування (переміщення робочих органів, спрацьовування різних механізмів), аналізу отриманої інформації, прийняття рішення та виконання прийнятого рішення.

Керування верстатом може виконуватись оператором (вручну) або без його безпосередньої участі – системою автоматичного керування (САК).

Під час керування вручну оператор використовує свій досвід та відомості про методи обробки, послідовності виконання технологічних переходів, режими обробки, можливостях та особливостях конструкції верстата, різального інструмента тощо.

На основі технологічної карти чи свого досвіду та знань він вибирає потрібний різальний інструмент, затискні та інші пристосування, вимірювальний інструмент, здійснює їх встановлення, налагодження та підналагодження. Потім виконує керування процесом обробки, отримуючи відповідні його кваліфікації якість обробки та продуктивність.

Керування спрощується, а доля участі оператора знижується коли застосовуються ПРИСТРОЇ ЦИФРОВОЇ ІНДИКАЦІЇ ТА КЕРУВАННЯ (ПЦІК).



- 1 – робочий орган верстата (стіл, супорт, шпиндельна бабка);
- 2 – вимірювальний перетворювач (ВП);
- 3 – нерухома частина ВП;
- 4 – лічильник;
- 5 – цифровий індикатор;

Під час переміщення робочого органу 1 верстата вимірювальний перетворювач 2, рухаючись відносно нерухомої частини 3, перетворює переміщення у пропорційне йому число імпульсів, які подаються на лічильник 4 та висвітлюються цифровим індикатором 5.

Усі металорізальні верстати за видами оброблюваних деталей можна розділити на 3 групи:

- 1) верстати для обробки деталей типу тіл обертання;
- 2) верстати для обробки корпусних деталей;
- 3) верстати для обробки складних деталей типу зубчастих коліс, черв'яків, шліцьових валів, рейок тощо.

Кожний верстат складається з пристроїв, які виконують рухи, задані програмою обробки виробу. Для великої кількості виконавчих пристроїв можна знайти загальні функціональні риси.

За призначенням, характеристиками та принципом роботи виділяють такі групи виконавчих пристроїв:

### **1. Формоутворювальні пристрої:**

Вони забезпечують формоутворення виробів та процеси позиціонування, переміщують заготовку чи інструмент за програмованими координатами під час обробки або перед обробкою. Траєкторію та шлях руху можна змінювати в залежності від програми, що вводиться. Їх рухи можуть бути простими (обертальні, поступні) або складними під час їх спільної роботи за рахунок підсумовування простих.

### **2. Маніпулювальні пристрої:**

Виконують постійні команди, пов'язані з автоматичним циклом роботи верстата. Вони змінюють режими різання, напрямки та швидкості переміщення механізмів верстата, керують охолодженням, замінюють різальний інструмент чи заготовку, транспортують та складують. Такі пристрої мають стаціонарну систему керування. Програмується момент вводу в дію та послідовність роботи.

### **3. Допоміжні пристрої:**

Обслуговують процес обробки. Це автоматичне збирання відходів, змащення верстата, забезпечують роботу гідро- та пневмосистеми верстата. Вони мають автономну систему керування.

Найбільш важливими та складними у керуванні є пристрої 1-ї та частково 2-ї групи. Для них характерно керування траєкторією руху, довжиною шляху та командами циклів.

### **Основні поняття керування:**

Позиціонування – рух у заздальгідь програмовані точки, звичайно без обробки. Це установчі, ділильні рухи, рухи для заміни інструменту, заготовки та інші подібні дії.

Автоматичний цикл роботи верстата (промислового робота, дільниці, верстатних модулів, ГАВ) – програмована послідовність рухів основних органів та дій допоміжних пристроїв за час виготовленні одиниці продукції.

Стандартний цикл – робота визначеного інструмента на обраній операції обробки. Частина загального циклу роботи обладнання.

Наприклад: свердління, нарізання різі мітчиком тощо, тобто операції, які виконуються за декілька послідовних проходів.

Прямокутний цикл обробки – позиційне керування, коли поперемінно відбуваються прості рухи виконавчих пристроїв, що забезпечують обробку деталей. (

Наприклад: точіння ступінчастих валів, фрезерування по контуру.

Програмоносії – кулачки, копії, упори, або числова інформація.

Програмуються в усіх випадках лише кінцеві точки ділянок загального контуру деталі, проміжні точки траєкторії руху утворюються копіюванням напрямних.

Початок відліку може бути у будь-якій точці контрольованого переміщення.

В якості вимірювальних перетворювачів у ПЦК застосовують імпульсні фотоелектричні ВП із штриховими шкалами, а також фазові ВП (сільсини та індуктосини).

ПЦК класифікують за рівнем автоматизації верстатів:

1. **Вимірювальний рівень** (позначається В(И)), коли ПЦК виконують тільки функції відліку переміщень.
2. **Рівень видачі рекомендацій** оператору верстат (позначаються Р), коли ПЦК здійснює функцію попереднього набору переміщень. В цьому випадку оператор набирає потрібні величини переміщень робочих органів, а потім переміщує їх вручну до досягнення нульових значень на цифровому табло.
3. **Рівень видачі оператору рекомендацій за програмою**, (позначаються РП). Програма попередньо складається та уводиться в пам'ять пристрою. На цифровому табло за програмою видаються потрібні значення та напрямки переміщень, а оператор вручну їх відпрацьовує;
4. **Керуючий рівень** (позначається К(У)). ПЦК виконує функції попереднього набору переміщень та їх автоматичного відпрацювання. Оператор тільки натискає на кнопку, а верстат виконує задані переміщення. Команди позиціонування видає ПЦК.
5. **Керуючий програмний рівень** (позначається КПР). ПЦК працює автоматично за програмою, тобто виконує функції, аналогічні пристроям ЧПК.

ПЦК може мати інші режими роботи: записи програм, самодіагностування та інші.

За функціональними можливостями ПЦК поділяють на дві групи:

I – ПЦК загального призначення без орієнтації їх технологічних функцій на визначену групу верстатів, які виконують тільки прості функції цифрового відліку;

П – ПЦК функціонально орієнтовані на визначений тип верстатів.

Деякі моделі ПЦК різного рівня: Ф5047, Ф5291 – **В**, Ф5134, Розмір – 2М1104 – **К**.

Для позначення верстатів з ПЦК у найменування моделі додають індекс Ф1 (верстат мод 2Н636ГФ1).

## **Лекція 2   Складові систем автоматичного керування. Складові керуючої програми. Програмоносії. Класифікація систем керування за структурою**

Під час роботи металорізального верстата у автоматичному режимі, функції його керування виконує **Система Автоматичного Керування (САК)**, що працює за заздальгідь складеною програмою керування, яка вводиться в систему керування за допомогою відповідного програмоносія.

Функціонування верстата під час автоматичного керування визначається його структурою та алгоритмом керування. Структура верстата визначає склад його функціональних пристроїв та зв'язки між робочими органами, а також між іншими пристроями.

Алгоритм керування, за яким працює система керування, визначає послідовність виконання різноманітних функцій керування верстатом.

*Програма керування (ПК)* – це сукупність команд на мові програмування, що відповідає заданому алгоритму функціонування верстата впродовж циклу обробки конкретної заготовки.

Програма керування утримує команди трьох категорій:

1 – *технологічні*, що забезпечують керування переміщеннями робочих органів верстата із заданими подачами на потрібні відстані у процесі обробки;

2 – *циклові*, що здійснюють перемикання швидкостей, подач, вибір та заміну інструментів, зміну палет із заготовками, вмикання та вимикання подачі охолоджуючої рідини, контроль точності обробки ;

3 – *службові* або логічні, що забезпечують правильність відпрацювання верстатам усіх команд, записаних у програмі.

Програмоносієм називають носія даних, на якому записана **ПК**. В якості програмоносіїв використовують кулачки, копії, лінійки з упорами, перфострічки, магнітні стрічки, а також різного типу запам'ятовуючі пристрої, що застосовуються у сучасних комп'ютерах.

**САК** металорізальними верстатами класифікують за різними ознаками в залежності від задач їх практичного застосування.

Широко застосовують класифікацію САК за інформаційними ознаками, під якими розуміють число та структуру потоків інформації під час керування різними металорізальними верстатами. Чим повніша інформація, що використовується в САК, тим вище якість її роботи та ширше функціональні можливості.

Джерелом інформації на вході САК є програма керування (**ПК**).

В якості зворотного зв'язку можуть використовуватись:

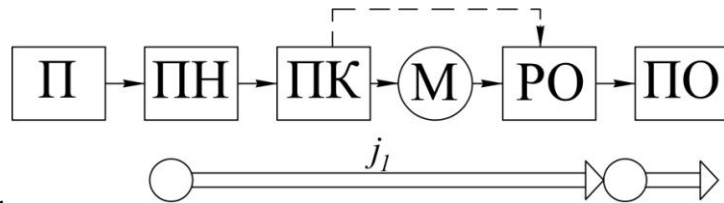
1 – потоки інформації, що характеризують стан процесу обробки (положення робочих органів верстата, рівень вібрацій, температурних деформацій, розміри заготовки);

2 – інформація про збурення, що діють на процес обробки і не залежать від процесу керування (припуск, твердість матеріалу, температура оточуючого середовища та інші).

Ці джерела інформації використовують в САК в різних комбінаціях, створюючи визначену структуру САК.

### Найбільш поширені структурні схеми САК

Розімкнена



П – програма

ПН – програмоносій

ПК – пристрій керування

М – мотор

РО – робочий орган

ПО – процес обробки

В розімкнених системах керування існує тільки прямий потік інформації  $j_1$  і пристрій керування (ПК) не контролює дійсне положення робочого органу верстата, тому точність його переміщення буде залежати від точності передавальних механізмів приводу подачі.

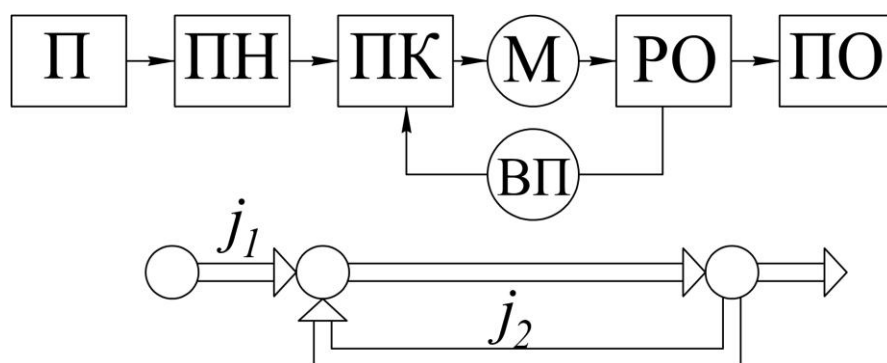
Розімкнені системи керування:

1 – з розподільним валом (РВ);

2 – механічні копіювальні системи;

3 – системи ЧПК з приводами подач на крокових електродвигунах.

### Замкнена з вимірювальним перетворювачем по положенню робочого органу верстата



ВП – вимірювальний перетворювач

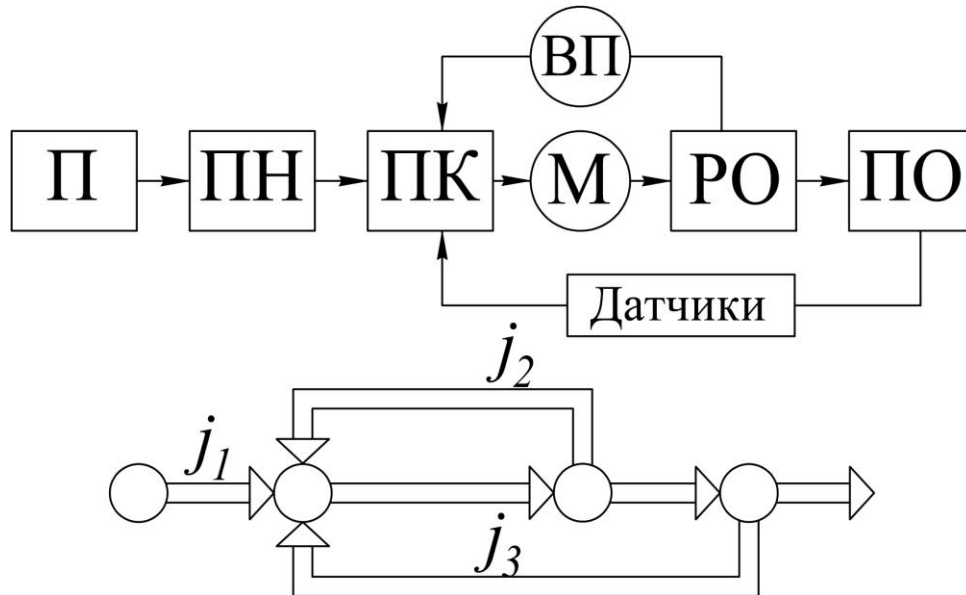
Замкнені системи керування поділяють на 3 групи:

1 – із зворотним зв'язком по положенню органів верстата (стола, салазок, шпиндельної бабки) – потік інформації  $j_2$  від вимірювального перетворювача

(ВП). До цієї групи відносяться слідкувальні копіювальні системи; більшість сучасних систем ЧПК.

2 – зворотний зв'язок по положенню РО верстата та компенсація похибок верстата (теплових деформацій, зносу, вібрацій тощо). Ці системи утримують додаткові датчики, які вимірюють похибки верстата і передають сигнали на ПК для корекції початкової інформації.

3 – адаптивні САК



Поряд із зворотним зв'язком по положенню робочих органів верстата (потік інформації  $j_2$ ) існує зворотний зв'язок (потік інформації  $j_3$  від додаткових датчиків) за параметрами процесу обробки (сили різання, крутному моменту, температурі в зоні різання, амплітуді вібрацій та ін.), який дозволяє враховувати та компенсувати вплив на точність обробки коливань припуску на заготовці, твердості оброблюваного матеріалу, зносу різального інструменту та інших факторів, що носять випадковий характер і передбачити їх вплив наперед неможливо.

Такі системи – найскладніші, але забезпечують високу точність, оптимальну продуктивність та мінімальну собівартість обробки.

**САК за характером сигналів керування поділяють на:**

- безперервні (аналогові);
- дискретні.

Безперервні сигнали є безперервними функціями часу. У дискретній системі хоча б одна ланка дискретного типу.

**Існуючі САК верстатами за принципами керування поділяють на 4 групи:**

1 – системи керування з РВ (розподільним валом) та кулачками, програма керування (ПК) задається у аналоговому вигляді – у вигляді робочих



та командних кулачків з відповідними профілями, які монтуються на РВ у відповідності до розробленої циклограми.

2 – **копіювальні системи керування**, де ПК також задається у аналоговому вигляді – у вигляді копіра;

3 - **системи циклового програмного керування (ЦПК)**, в яких розмірна інформація задається у аналоговому вигляді шляховими упорами, що встановлюються на лінійках, які можна замінювати, а циклова – у цифровому вигляді набором на пульті керування;

4 – **системи ЧПК**, в яких ПК задається у цифровому вигляді і уводиться або з допомогою перфострічки, або набирається на пульті керування безпосередньо оператором і уводиться в пам'ять системи керування, або подається від ЕОМ більш високого рівня керування.

Системи автоматичного керування можуть базуватись на механічній, гідравлічній, пневматичній, пневмогідравлічній, електричній, електрогідравлічній та електронній основах.

## РОЗДІЛ 2 АНАЛОГОВІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТАМИ

### Лекція 3 Системи керування з розподільчим валом (РВ). Принципи розрахунку робочого циклу та побудови циклограм роботи. Групи систем керування з РВ

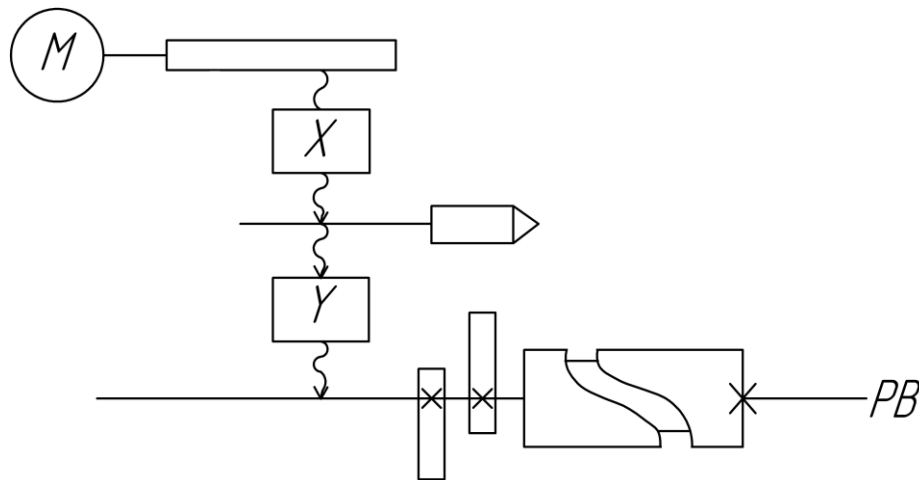
У системах керування з РВ застосування дискових та циліндричних кулачків, що монтуються на РВ, забезпечує керування великим числом різних робочих органів з надійною та максимальною синхронізацією їх рухів.

Для таких систем будують циклограми і розраховують робочий цикл обробки заготовки будь-якої складності за визначений проміжок часу  $\dot{O} = t_p + t_{д.х.}$ , що відповідає одному оберту РВ.

де  $t_p$  та  $t_{д.х.}$  – відповідно сумарний час несумісних робочих та допоміжних ходів.

Системи керування з РВ за принципом виконання допоміжних ходів поділяють на 3 групи.

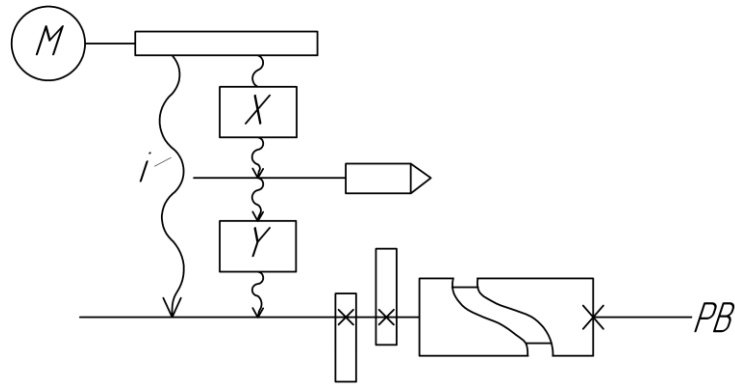
1. Системи керування з РВ, в яких частота обертання РВ для кожного налагодження гітари змінних зубчастих коліс  $Y$  постійна впродовж всього часу робочого циклу  $T$ .



Тому при зміні (наприклад, збільшенні) часу робочих ходів пропорційно змінюється (збільшується) час допоміжних ходів, хоча вони могли б виконуватись за менший час.

Таку систему керування застосовують у токарних автоматах для обробки достатньо простих деталей невеликого діаметра (токарні автомати поздовжнього точіння 1Р103, 1103, 1В06А, 1Б10П, 1М10В).

2. Системи керування з РВ, в яких РВ впродовж робочого циклу  $T$  мають дві різні частоти обертання:

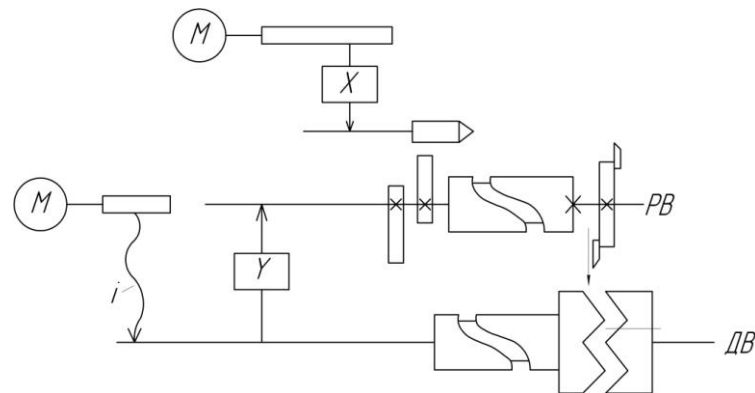


1 – обертання з малою частотою через гітару змінних зубчастих коліс  $Y$ , коли виконуються робочі рухи;

2 – по кінематичному ланцюгу з постійним передаточним відношенням з максимальною частотою (виходячи з міцності механізму), коли виконуються допоміжні переміщення.

Такі системи керування з РВ найбільший ефект дають при обробці найбільш складних деталей. Ними оснащені багатошпindelні токарні автомати та напівавтомати (1Б216, 1Б240, 1Б240П).

### 3. Системи керування, які утримують крім РВ, допоміжний вал (ДВ).



РВ обертається з одною швидкістю, як в системах першої групи, під час виконання всіх робочих та частини допоміжних ходів (підведення та відведення поперечних супортів). Решта допоміжних ходів (подача та затискання прутка, обертання револьверної головки, перемикання частоти обертання шпинделя) виконуються за допомогою допоміжного вала (ДВ).

ДВ обертається з максимально можливою постійною частотою по ланцюгу з постійним  $i$ . Виконання допоміжних ходів за допомогою ДВ здійснюється від командних кулачків на РВ. Такі системи застосовуються на автоматах для обробки деталей середньої складності. Ними оснащені токарно-револьверні автомати 1Д112, 1Д118, 1Б124, 1Б136, 1Е125, 1Е140.

## Лекція 4 Копіювальні системи керування. Структура механічних та слідкуючих копіювальних систем керування. Принципи перетворення інформації копіювальних системах керування. Типи слідкуючих копіювальних систем керування

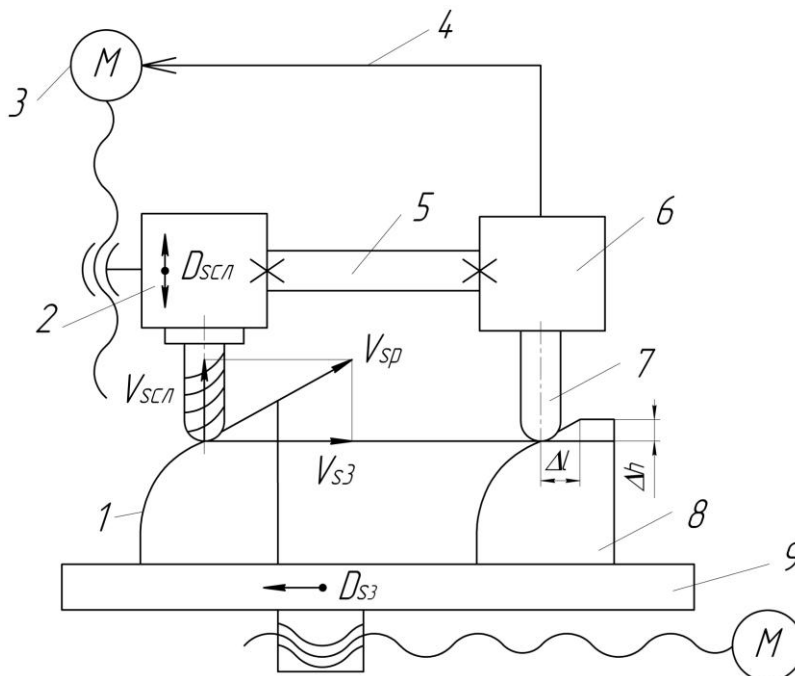
Розрізняють механічні та слідкувальні.

Програмоносій – копір (плоский або об'ємний) – є прототипом оброблюваної деталі або її частини.

В механічних копіювальних системах копір виконує функції керування і подачі різального інструмента, він сприймає сили різання.

В слідкувальних копіювальних системах копір виконує тільки функцію керування.

### Структурна схема слідкувальної копіювальної системи керування



- 1 – заготовка,
- 2 – шпиндельна головка з фрезою, має слідкувальний рух  $D_{sc1}$ ,
- 3 – силовий слідкувальний привод (електро -, гідро -),
- 4 – сигнал керування,
- 5 – жорсткий механічний зворотній зв'язок,
- 6 – копіювальна головка,
- 7 – щуп,
- 8 – копір,
- 9 – робочий стіл, має постійний задавальний рух  $D_{s3}$ .

Силовий слідкувальний привод 3 виконує функцію робочої подачі. Він отримує сигнал керування 4 від копіювальної головки 6 та забезпечує шпиндельній головці 2 слідкувальний рух подачі  $D_{\text{ссл}}$ , коли стіл 9 з копіром 8 переміститься на відстань  $\Delta l$ , а щуп 7 підніметься відносно копіювальної головки на  $\Delta h$ . В результаті різальний інструмент рухається із швидкостями  $V_{\text{ссл}}$  та  $V_{\text{счз}}$ , які складаються у результуючу швидкість подачі  $V_{\text{сп}}$ .

Такий принцип роботи слідкувальної копіювальної системи дозволяє виготовляти копії з легко оброблюваних матеріалів, знижує їх знос та підвищує точність обробки.

Застосовують електричні, гідравлічні, електрогідравлічні та інші типи слідкувальних копіювальних систем керування в основному на токарних та фрезерувальних верстатах.

Копіювальні системи прості за конструкцією, але мають низьку мобільність.

Перетворення числової інформації креслення деталі в аналоговий вигляд (копії) потребує проектування, виготовлення, налагодження верстата, а також при цьому виникають похибки у передачі інформації (виготовлення копіїв, знос).

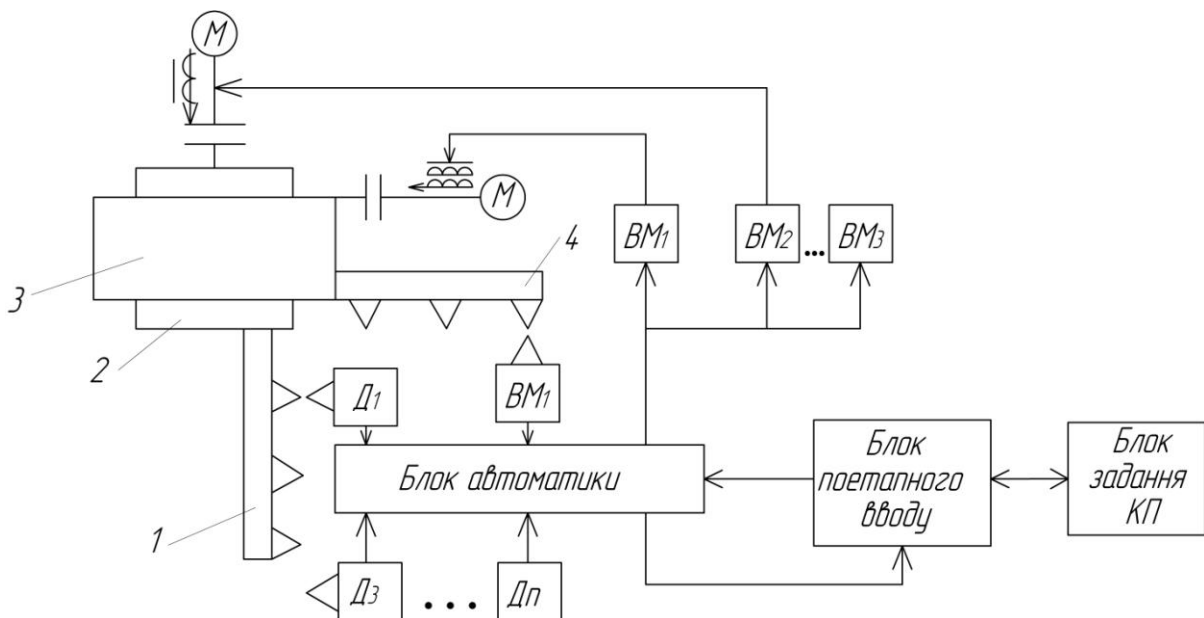
## **Лекція 5 Системи циклового програмного керування. Типова структурна схема. Розподіл інформації між частинами керуючої програми**

Одна частина програми керування (ПК) (інформація про цикл та режими обробки) – задається в числовому вигляді.

В якості програмоносіїв використовують електромеханічні носії інформації (штекерні та комутаційні поля, програмні барабани, діодні матриці, перфокарти тощо) та електронні (напівпостійні запам'ятовуючі пристрої на мікросхемах з електричним перезаписом).

Друга частина ПК – розмірна інформація (переміщення робочих органів верстата) – встановлюється за допомогою шляхових упорів на спеціальних лінійках або барабанах. На кожну координату – своя лінійка.

### **Типова структурна схема системи ЦПК**



- 1 – лінійка упорів салазок,
- 2 – салазки,
- 3 – стіл,
- 4 – лінійка упорів стола,
- Д<sub>1</sub> – Д<sub>n</sub> – датчики,
- ВМ<sub>1</sub> – ВМ<sub>n</sub> – виконавчі механізми.

Інформація про цикл та режими обробки задається блоками задання та поетапного вводу ПК.

Блок задання ПК (програматор) – найчастіше – штекерна панель.

Блок поетапного вводу – електронна або релейна лічильно-розподільна схема, побудована на крокових шукачах, електромагнітне реле чи логічних елементах.

Блок автоматики призначений для підсилення та розподілу команд.

Виконавчі механізми найчастіше утримують електромагнітні муфти (коробки швидкостей, подач та ін.).

Блоки систем ЦПК виконують на основі електричних, пневматичних або гідравлічних елементів.

## **Лекція 6 Апаратні та програмні засоби програмованих командоапаратів систем циклового програмного керування**

В наш час для блока автоматики використовують програмовані командоапарати (ПКА), які виконують логічні функції та функції затримки часу.

ПКА – це сукупність апаратних та програмних засобів, які дозволяють імітувати роботу будь-якої схеми.

На ПКА відбувається збирання та логічна обробка сигналів датчиків, кінцевих вимикачів, кнопок, а також формування команд позиційного керування, тобто вмикання та вимикання різних виконавчих механізмів.

Основна відміна ПКА від електричних пристроїв звичайного типу – побудова не за схемним, а за програмним принципом. Тому для автоматизації різних циклів непотрібна індивідуальна комплектація апаратури та монтажу, достатньо вибрати за кількісними параметрами одне із стандартних виконань ПКА.

Звичайно ПКА мають модульну побудову, що дозволяє нарощувати число входів та виходів.

Інша відміна – виконання на сучасній елементній базі (інтегральні мікросхеми, запам'ятовуючі елементи, потужні напівпровідникові вихідні елементи).

Все це підвищує надійність та створює умови застосування стандартного виконання ПКА для різних верстатів.

Принцип програмування програмованого командоапарата (ПКА) простий: кожна програмна команда відповідає релейному входу, виходу або функції керування.

Одна команда мови – це один логічний зв'язок.

Програма виконання технологічного процесу – це список команд, які виконуються послідовно та циклічно.

Мова програмування складається з цілих чисел, що позначають оператори (номера контактів реле, число тактів рахування та часу) та назви операторів.

ПКА (програмовані командоапарати) різних моделей мають такі технічні характеристики: максимальне число входів та виходів – 128, 256, 512, 1024, вихідні сигнали  $U = 20 \dots 50$  В,  $I = 0,2 \dots 2$  А, час сканування 1Кбт слів – 3...5 мс.

Розмірна інформація в системах ЦПК задається шляховими упорами на лінійках.

Під час переміщення лінійок упори діють на мікрОВимикачі, що видають сигнал про закінчення відпрацювання кожного етапу.

Точність спрацьовування та зупинки робочого органу складає  $\pm 0,015$  мм.

В сучасних системах застосовують безконтактні, індуктивні шляхові перемикачі.

Такий спосіб задання ПК в системах ЦПК дозволяє скоротити час переналагодження.



Працемісткими лишаються тільки встановлення та налагодження упорів, хоча це може виконуватись поза верстатом, а лінійки не потрібно виготовляти кожний раз заново (як кулачки).

Задання розмірної інформації за допомогою шляхових упорів обумовлює дискретний спосіб керування (команди видаються упорами в місцях їх встановлення).

Керування переміщеннями можливо тільки по прямолінійному циклу, що значно обмежує технологічні можливості верстатів з ЦПК, ускладнює суміщення робочих та допоміжних ходів.

## РОЗДІЛ 3 АПАРАТНІ ТА ПРОГРАМОВАНІ СИСТЕМИ ЧПК

### Лекція 7 Системи числового програмного керування та варіанти їх побудови. Принципи побудови апаратних та програмованих пристроїв ЧПК. Загальна структура пристроїв ЧПК. Перетворення вхідної інформації у системах числового програмного керування

ЧПК металорізальним верстатом називають керування обробкою заготовки на верстаті за програмою керування, в якій дані задані у цифровій формі (ГОСТ 20523-80).

Під системою ЧПК розуміють сукупність функціонально взаємопов'язаних та взаємодіючих технічних та програмних засобів, що забезпечують числове програмне керування верстатом.

Основою системи ЧПК є пристрій ЧПК (**ПЧПК**), який видає сигнали керування на виконавчі органи верстата у відповідності до ПК та інформації про стан верстата.

До складу **ПЧПК** входять взаємопов'язані складові частини: технічні засоби та програмне забезпечення (системне, технологічне, функціональне).

Принципова відміна системи ЧПК від інших систем керування полягає у способі розрахунку та задання ПК, а також її передачі для керування робочими органами верстата.

В системах ЧПК вся інформація ПК готується та передається робочим органам верстата тільки в цифровій, дискретній формі.

Траєкторія руху різального інструмента відносно оброблюваної заготовки подається у вигляді ряду її послідовних положень, кожне з яких визначається числом.

Вся інформація ПК (розмірна, технологічна, допоміжна), яка подається у текстовій або табличній формі, кодується і пробивається на перфострічці, записується на магнітній стрічці або уводиться в пам'ять системи керування безпосередньо з клавіатури.

**ПЧПК** перетворює цю інформацію в команди керування для виконавчих елементів верстата та контролює їх виконання.

За структурою побудови розрізняють **ПЧПК** двох видів:

- апаратні – тип **NC** (Numerical Control);
- програмовані – тип **CNC** (Computerized Numerical Control).

Відповідно розрізняють апаратні та програмовані системи ЧПК, побудовані на базі цих видів **ПЧПК**.

**Апаратним ПЧПК** називають пристрій, алгоритми роботи якого реалізуються схемним шляхом і не можуть бути змінені після виготовлення пристрою.

Такі **ПЧПК** побудовані за принципом цифрової моделі, де всі операції, що складають алгоритм роботи, виконуються паралельно за допомогою окремих блоків, кожний з яких реалізує одну визначену функцію.

Це агрегатно-блочна побудова.

Змінювати структуру таких ПЧПК можливо лише шляхом перепайки схеми.

Перелік всіх функцій закладається на стадії проектування. Додаткові функції повинні передбачатись замовником перед проектуванням таких пристроїв.

Такі ПЧПК відрізняються обмеженим втручанням оператора у відпрацювання програми.

У промисловості застосовують такі типи апаратних ПЧПК:

“Контур-2ПТ”, Н22 – для токарних верстатів;

“Контур-3П”, Н33 – для фрезерних верстатів;

“Контур-2ПТ”, Н22 – для токарних верстатів;

“Размер-2М”, П33 – для координатних верстатів;

Ш-111М, П-111 – для шліфувальних верстатів.

## РОЗДІЛ 4 ОСНОВНІ СКЛАДОВІ ПРИСТРОЇВ ЧПК

### **Лекція 8** Апаратні пристрої та функціональні блоки числового програмного керування. Програмоносії, запам'ятовуючі пристрої, одно- та мультипроцесорні системи, класифікація за складністю, вимірювальні перетворювачі

**Програмованим ПЧПК** називають пристрій, алгоритм роботи якого реалізується за допомогою програм, що вводяться в його пам'ять, і можуть бути змінені після виготовлення цього пристрою.

Принципова різниця програмованих ПЧПК від апаратних – це їх структура, що відповідає структурі ЕОМ.

Вона включає апаратні засоби та програмне забезпечення (ПЗ).

Під програмним забезпеченням розуміють сукупність програм та документації до них для реалізації задач, які виконуються системою ЧПК під час керування верстатом.

До складу програмованої системи ЧПК входить мікроЕОМ на основі мікропроцесора.

Мікропроцесор – це цифрова ВІС переважно монолітної структури, яка реалізує логічні та арифметичні операції.

Такі системи ЧПК називають мікропроцесорними.

Можливості програмованих систем ЧПК залежать від об'єму їх пам'яті (запам'ятовуючих пристроїв).

Розрізняють три типи запам'ятовуючих пристроїв:

**ОЗП** – оперативний запам'ятовуючий пристрій з високою швидкістю, який призначений для запису та зчитування інформації в режимі реального часу (**RAM** – Random access memory).

ОЗП використовують для тимчасового зберігання даних під час реалізації програми керування (програми керування, різні види корекції подач, частоти обертання шпинделя, радіуси та довжини інструментів та ін.).

**ПЗП** – постійний програмований запам'ятовуючий пристрій. Він дозволяє тільки зчитувати інформацію, без зміни вмісту та зберігає інформацію при вимкненні живлення.

ПЗП застосовують для зберігання постійних даних та програм функціонування (внутрішнє програмне забезпечення самого мікропроцесора та прикладне програмне забезпечення ПЧПК).

У ПЗП зберігаються алгоритми керування та типові, найбільш розповсюджені цикли обробки, які доповнюються в поточному конкретному випадку тільки цифровими даними по переміщенням.

**ППЗП** – перепрограмований постійний запам'ятовуючий пристрій.

Вміст ППЗП може змінюватись багаторазово. Для ППЗП з електричним стиранням число циклів перепрограмування складає  $10^4 \dots 10^5$ .

Якщо стирання ультрафіолетове – число циклів не перевищує 100.

Програмовані **ПЧПК** класифікуються за числом керованих координат:

До 3-х координат – 2У22, 2У32;  
4...6 координат – 2С42, "Мікро-8С", "Fanuc 6М",  
більше 6 – 2С85, "Fanuc 9", "Sinunierik 8М"

Поряд з однопроцесорними системами ЧПК використовують мультипроцесорні системи.

У таких системах декілька мікропроцесорів, кожний з яких виконує свої функції.

Так, якщо у ЧПК 4 мікропроцесора, то

**один** — виконує керування вводом–виводом інформації, включаючи програмоване адаптивне керування;

**другий** — розраховує траєкторію взаємного переміщення заготовки та інструмента та визначає потрібні корекції;

**третій** — здійснює позиціонування та регулювання положення;

**четвертий** — працює з дисплеєм та забезпечує режими індикації даних.

Мультипроцесорні системи ЧПК дозволяють реалізувати ряд нових функцій:

— вводити нову ПК під час роботи верстата за попередньою;

— виконувати діалоговий ввід ПК з графічним відображенням на дисплеї траєкторії руху інструмента;

— значно розширити число керованих координатних переміщень вузлів верстата.

За сукупністю ознак програмовані ПЧПК поділяють на 4 класи:

**1 КЛАС** – найбільш прості ПЧПК, призначені для верстатів з прямокутним формоутворенням.

**2 КЛАС** – для верстатів, що працюють в умовах середньосерійного виробництва та виготовляються великими серіями (токарні, фрезерувальні, багатопільові).

**3 КЛАС** – для верстатів гнучких виробничих модулів, що працюють в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва.

**4 КЛАС** – найбільш складні, призначені для комплектації важких та унікальних верстатів та верстатних модулів.

Системи ЧПК виготовляють з керуванням приводами подач без зворотного зв'язку (розімкнені) та із зворотнім зв'язком (замкнені).

Замкнені системи ЧПК мають зворотній зв'язок за положенням керованого робочого органу верстата.

Основою зворотного зв'язку є **вимірювальний перетворювач (ВП)**.

**ВП** призначений для перетворення лінійних чи колових або кутових переміщень у електричний сигнал.

Цей сигнал несе інформацію про величину та напрямок руху та має параметри, що відповідають стандартам на системи ЧПК та пристрої цифрової індикації.

За видом вхідної фізичної величини **ВП** поділяють на **ВП лінійних переміщень** та **ВП кутових (колових) переміщень**.

За фізичним принципом розрізняють такі **ВП**:

— хвильові;

- ємнісні;
- індукційні та індуктивні;
- локаційні;
- потенціометричні;
- фотоелектричні;
- оптоелектронні;
- електромагнітні.

Інформативні параметри вхідних сигналів **ВП** наступні:

1. Положення рухомого елемента **ВП** на виконавчому механізмі верстата по відношенню до нерухомого елемента **ВП**.

2. Комбінація функціонально пов'язаних між собою електричних сигналів, тотожних положенню виконавчого механізму верстата.

Встановлено 9 класів точності **ВП**.

Граничну похибку **ВП** встановлюють як найбільше відхилення від дійсного значення між двома будь-якими точками в усьому інтервалі переміщень.

У граничну похибку **ВП** входять усі різновиди систематичних похибок та їх випадкові складові.

Для 1 класу точності границя допустимого значення похибки лінійних переміщень  $\Delta_d = 0,5 + 1,2L$  (мкм) ( $L$  в м) при температурі  $293 \pm 0,2$  К.

Для 9 класу –  $\Delta_d = 150 + 200L$  при температурі  $293 \pm 5$  К.

На практиці найбільшого застосування отримали лінійні та колові **ВП** таких типів: сельсини, індуктосини, фотоелектричні **ВП** зі штриховими мірами.

В останній час у зв'язку зі зменшенням дискретності системи ЧПК до  $1 \dots 0,1$  мкм в якості **ВП** почали застосовувати лазерні інтерферометри.

Рівень сучасних систем ЧПК в значній мірі залежить від **програмного забезпечення (ПЗ)**.

Для простих систем ЧПК його об'єм може складати  $8 \dots 20$  Кб, для складних, багатокординатних  $0,5 \dots 1,5$  Мб.

**ПЗ** будується за блочно-модульним принципом з максимально незалежними модулями і забезпеченням їх універсальності у застосуванні на різних верстатах.

**ПЗ** в загальному вигляді складається з двох частин.

I – **системне (базове) ПЗ**, яке є загальним для різних верстатів. В його склад входять модуль інтерпретатора ПК, модуль керування електроавтоматикою верстата. В конкретному випадку використовують готові програмні модулі.

II – **нестандартна частина**, яка визначається задачами керування даним верстатом. Сюди входить технологічне та функціональне **ПЗ**, які відносяться до конкретного верстата.

**ПЗ** дуже важлива складова систем ЧПК, оскільки забезпечує задану продуктивність верстата та якість виготовлення деталей.

## РОЗДІЛ 5 ПІДГОТОВКА ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ

### **Лекція 9 Зображення траєкторії руху інструмента. Поняття центр інструмента та його розташування на різних типах інструментів. Типи опорних точок траєкторії руху інструмента. Системи координат**

Програма керування, тобто вихідна інформація по обробці деталі записується на програмоносій у визначеній формі і складається з набору кадрів.

Кожний кадр утримує геометричні та технологічні дані по обробці елементарної ділянки деталі між двома сусідніми опорними точками.

Кадри складаються зі слів, що визначають програму роботи окремих виконавчих органів: переміщення по координатам **X, Y, Z**; швидкість подачі, робота допоміжних механізмів (заміна інструмента).

Перші зразки систем ЧПК верстатів в якості програмоносія використовували паперові перфострічки шириною 25 мм (один дюйм). На такій перфострічці для забезпечення надійного запису та збереження інформації використовували вісім доріжок, на яких у потрібних місцях пробивались спеціальним пристроєм-програмактором отвори.

Для протягування стрічки як під час запису програми, так і під час зчитування записаної інформації використовувалась додаткова дев'ята транспортна доріжка. Для забезпечення постійної визначеної орієнтації стрічки ця транспортна доріжка була зміщена від поздовжньої середньої лінії. На цій доріжці заздалегідь пробивались отвори, які в подальшому слугували для протягування у пристроях зчитування систем ЧПК та програматорах.

Основна інформація записувалась на семи доріжках. Восьма використовувалась для захисту від помилок. Такий захист полягав у контролі кожного рядка на парність числа отворів. Якщо кількість отворів на семи доріжках рядка була непарною, то на восьмій доріжці пробивався отвір. Цю процедуру виконував програмактор під час запису програми, а під час зчитування системою ЧПК така перевірка гарантувала відсутність помилок у програмі у випадках пошкодження перфострічки.

В одному рядку на семи основних доріжках можна було записати 7 біт інформації. Всього можна отримати  $2^7 = 128$  комбінацій тобто закодувати 128 символів. Як з'ясувалось, цього достатньо для кодування десяткових цифр, літер алфавіту та службових символів, необхідних для запису програми керування обробкою. Код отримав назву семирозрядний літерно-цифровий ІСО-7біт та був прийнятий за міжнародний стандарт.

За символами коду ІСО-7біт закріплені визначені значення, які використовуються для кодування технологічної інформації (адреси команд, переміщення, тощо).

Існують також службові символи, які використовуються для кодування команд для друку програм, а також для позначення початку та кінця програми, початку та кінця кадру, різного роду пропусків та зупинок.

Окремі ділянки контуру деталі та еквідистанти називаються геометричними елементами (відрізки прямих, дуг, кривих вищих порядків).

Точки перетинання або переходу одного елемента в інший визначають як геометричні опорні точки. За ними в більшості випадків визначають положення та координати елементів контуру.

Положення, величина та напрямок руху інструмента задаються з визначеної заданої нульової точки.

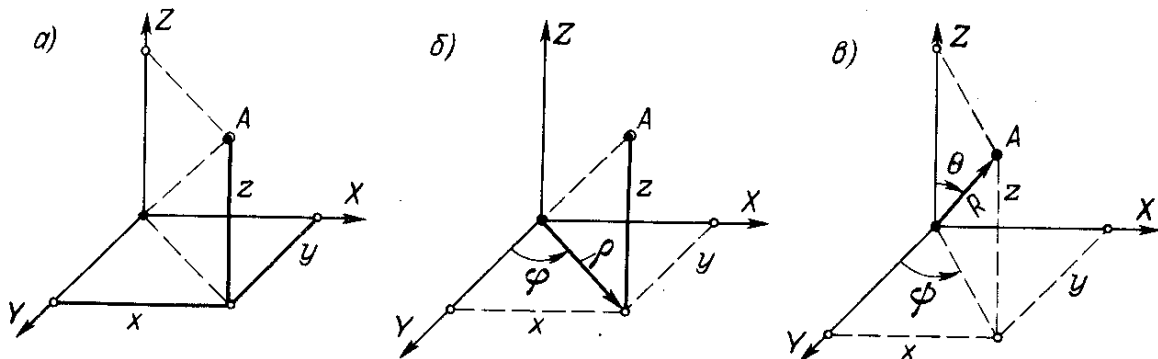
Така точка може бути у верстата (нуль верстата) або у деталі (нульова точка деталі). Ці точки – початок системи координат верстата або даної деталі.

Нуль деталі –  $W$ , задається відносно  $O$  верстата:  $x_{MW}$ ,  $y_{MW}$ ,  $z_{MW}$ . В загальному вигляді координати задаються трьома символами: символ осі ( $x, y, z$ ), символом вихідної точки (наприклад  $M$ ) та кінцевої точки  $W$ .

Початкова точка  $O$  (координати  $x_{MO}$ ,  $y_{MO}$ ,  $z_{MO}$ ) використовується для початку роботи за програмою. З нею перед початком роботи поєднують центр інструмента.

У верстатах з ЧПК найбільш розповсюджені системи координат:

1. Прямокутна (три лінійних координати  $X, Y, Z$ ) (рис. а);
2. Циліндрична (дві лінійних координати  $Z, \rho$  та одна кутова  $\varphi$ ) (рис. б);
3. Сферична (одна лінійна  $R$  та дві кутові  $\varphi, \theta$ ) (рис. в).





## **Лекція 10 Способи завдання координат опорних точок траєкторії обробки. Програмування ділянок траєкторії обробки, що розташовані під кутом до осей координат або мають криволінійну форму. Лінійні та колові інтерполятори**

На траєкторії руху центра інструмента можуть задаватись технологічно опорні точки (зміна подачі, тимчасова зупинка з визначеним часом зупинки).

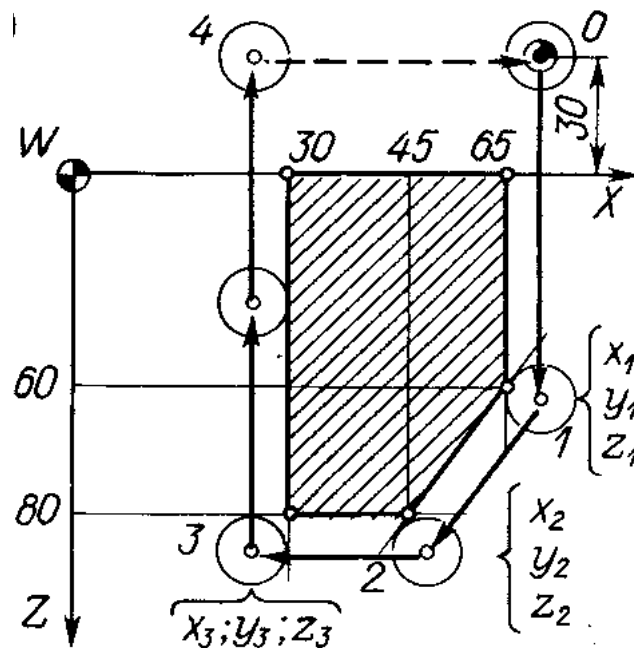
Під час обробки деталі інструмент може рухатись в одній площині (плоска обробка), тоді використовуються дві керовані координати, або рухатись у просторі (об'ємна обробка) – три керовані координати.

Хоча найчастіше об'ємні поверхні обробляють рядками або шарами, кожний з яких розташований у одній площині, тоді траєкторія руху є плоска крива.

Опорні точки на траєкторії руху інструмента дозволяють зобразити траєкторію як визначену послідовність точок, які проходить центр інструмента.

Кожне з положень (кожна окрема точка) у заданій системі координат визначається числами.

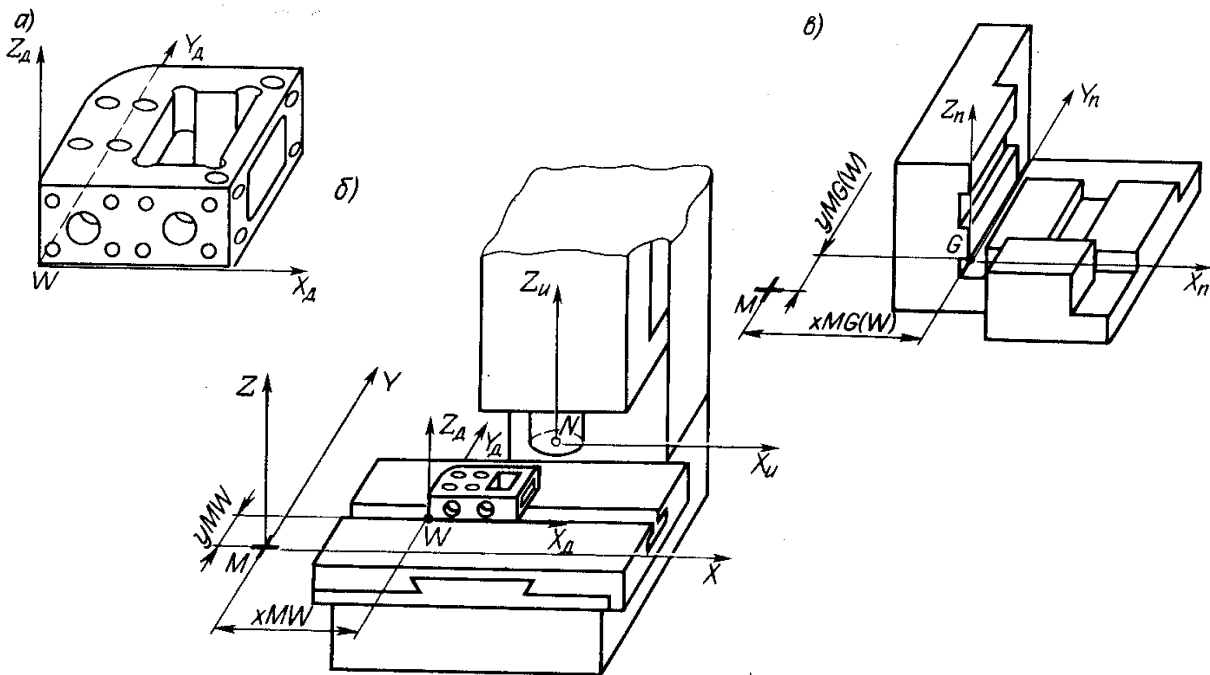
Комбінація таких чисел, що визначають ряд послідовних положень інструмента, становлять основну частину програми роботи верстат, виражену у числовому вигляді.



Траєкторія обробки **0-1-2-3-4-0**

На початку програмування системи координат деталі  $X_d Y_d Z_d$  задають положення базових елементів заготовки.

При встановленні деталі на верстат положення нуля деталі фіксується відносно координатної системи верстата  $XYZ$  координатами  $x_{MW}$ ,  $y_{MW}$ ,  $z_{MW}$ .

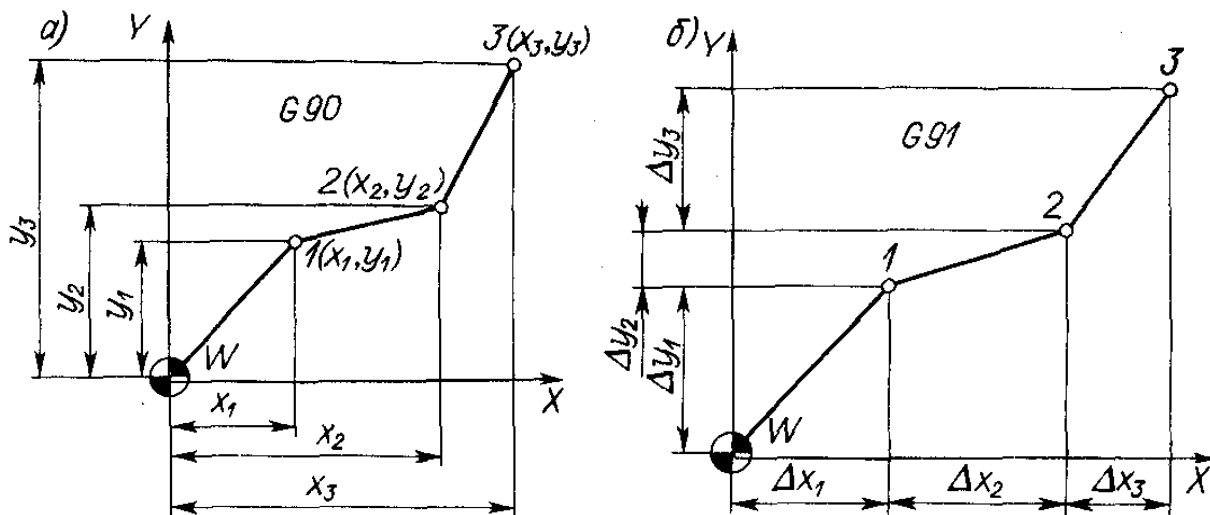


Системи координат деталі, верстата, пристосування

Якщо використовується пристосування, то його координати повинні бути зафіксовані на верстаті відносно нуля верстата (точка **M**).

Визначають також координатну систему інструмента  $Z_iNX_i$ .

Координати опорних точок можуть бути виражені абсолютними розмірами відносно нульової точки верстата чи деталі, або задаватись у вигляді приростів у напрямку руху інструмента від одної точки до іншої.



Способи запису координат опорних точок

Під час запису ПК спосіб кодування позначається символами:

**G90** – абсолютні координати;

**G91** – розміри у приростах.

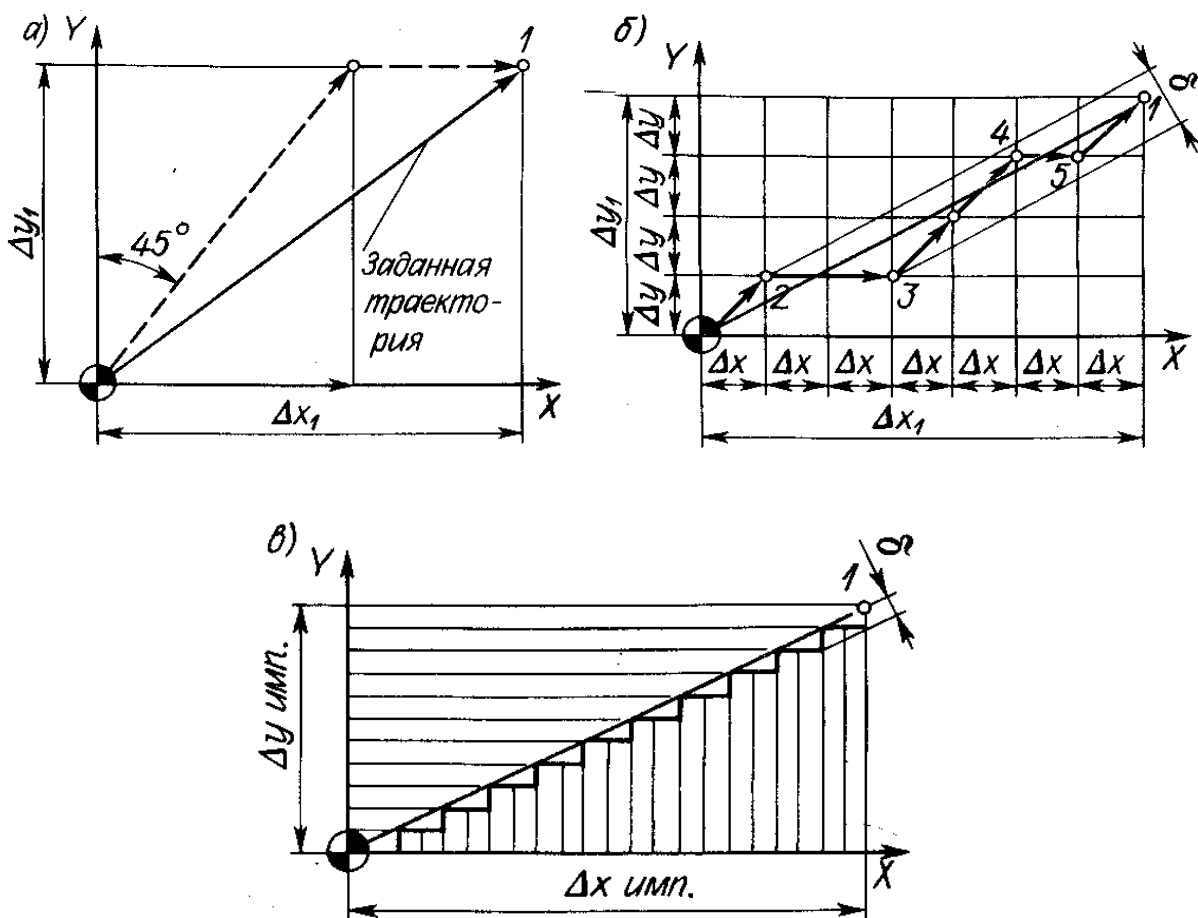
Системи ЧПК керують дискретно. Один імпульс – це найменше програмоване переміщення. Воно визначається системою ЧПК, механізмом подачі, датчиком зворотного зв'язку.

Виходячи з дискретної системи, координати опорних точок, або приріст координат можливо задавати кількістю імпульсів.

Наприклад, відстань між опорними точками  $\Delta X = 12,32$  мм, дискретність по осі  $X$  складає  $0,01$  мм/імп., то можна задавати  $\Delta X = 1232$  імп., дискретність по  $Y$  –  $0,02$  мм/імп., якщо  $\Delta Y = 65,8$  мм то можна задавати  $\Delta Y = 329$  імп.

Програмування ділянок траєкторій руху інструмента, що розташовані під кутом до осей та обробка деталі потребує спеціальних рішень.

Навіть постійна швидкість по осям для різних координат по осям ( $\Delta X_1 \neq \Delta Y_1$ ) через різний час руху по відповідним осям буде викривляти задану траєкторію.



Наблизити фактичну траєкторію до заданої можна введенням додаткових опорних точок та призначенням відповідної послідовності переміщення інструмента між ними.

Наприклад:  $(\Delta X; \Delta Y)$ ;  $(2\Delta X)$ ;  $(3\Delta X; 3\Delta Y)$ ;  $(\Delta X)$ ;  $(\Delta X; \Delta Y)$ .

Тобто траєкторія розбивається на більш дрібні ділянки. Величина  $\delta$  визначить похибку.

Під час програмування це веде до різкого збільшення кількості розрахунків та об'єму програми.

На практиці детальне представлення заданої траєкторії руху інструмента між двома опорними точками здійснюють за допомогою спеціального обчислювального пристрою – інтерполятора.

Інтерполятор безперервно, тобто в кожний даний момент, в процесі переміщення інструмента від одної опорної точки до другої забезпечує відпрацювання траєкторії в залежності від функції.

В залежності від вигляду траєкторії розрізняють інтерполятори лінійні та колові.

## Лекція 11 Кодування інформації для керуючої програми систем ЧПК. Форма запису та склад керуючої програми. Значення символів адрес. Структура керуючої програми та кадру, формат запису слів

### 1 Зображення траєкторії обробки

Під час обробки інструмент та заготовка рухаються відносно один одного по визначеній траєкторії.

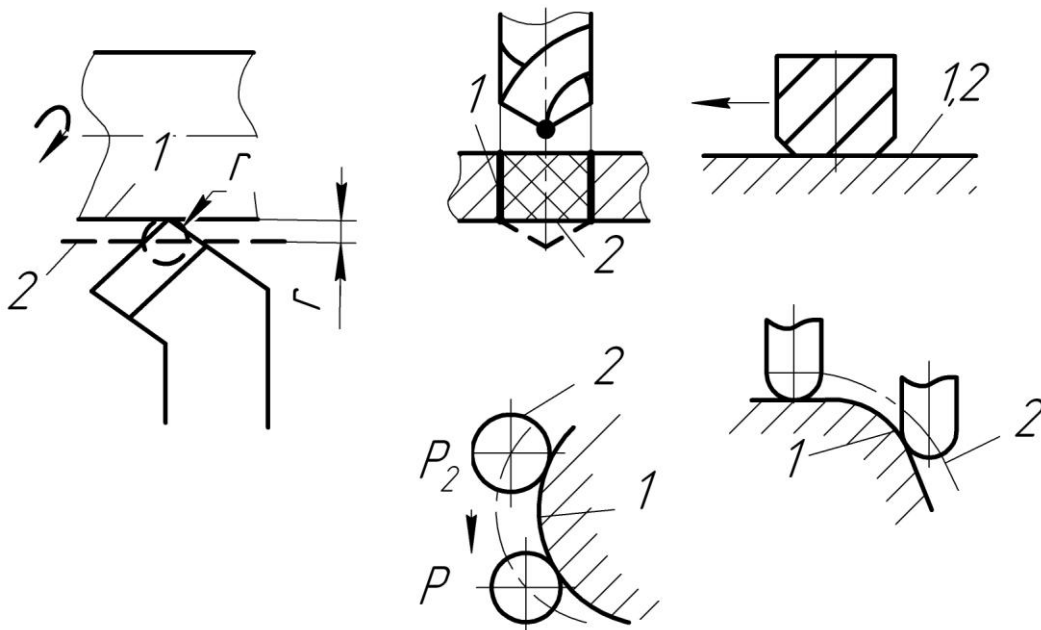
Програма обробки задає рух визначеної точки інструмента – його центра (P).

Для кінцевої фрези із сферичним торцем це центр півсфери.

Для кінцевої циліндричної фрези, свердла, зенкера, розвертки – центр основи.

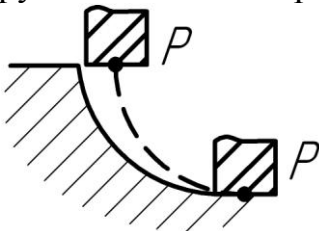
Для різця – центр дуги кола при вершині.

Якщо прийняти, що радіус інструмента під час обробки не змінюється, то траєкторія центра інструмента при контурній обробці є еквідистантою контуру деталі.



Схеми траєкторій руху центра інструмента

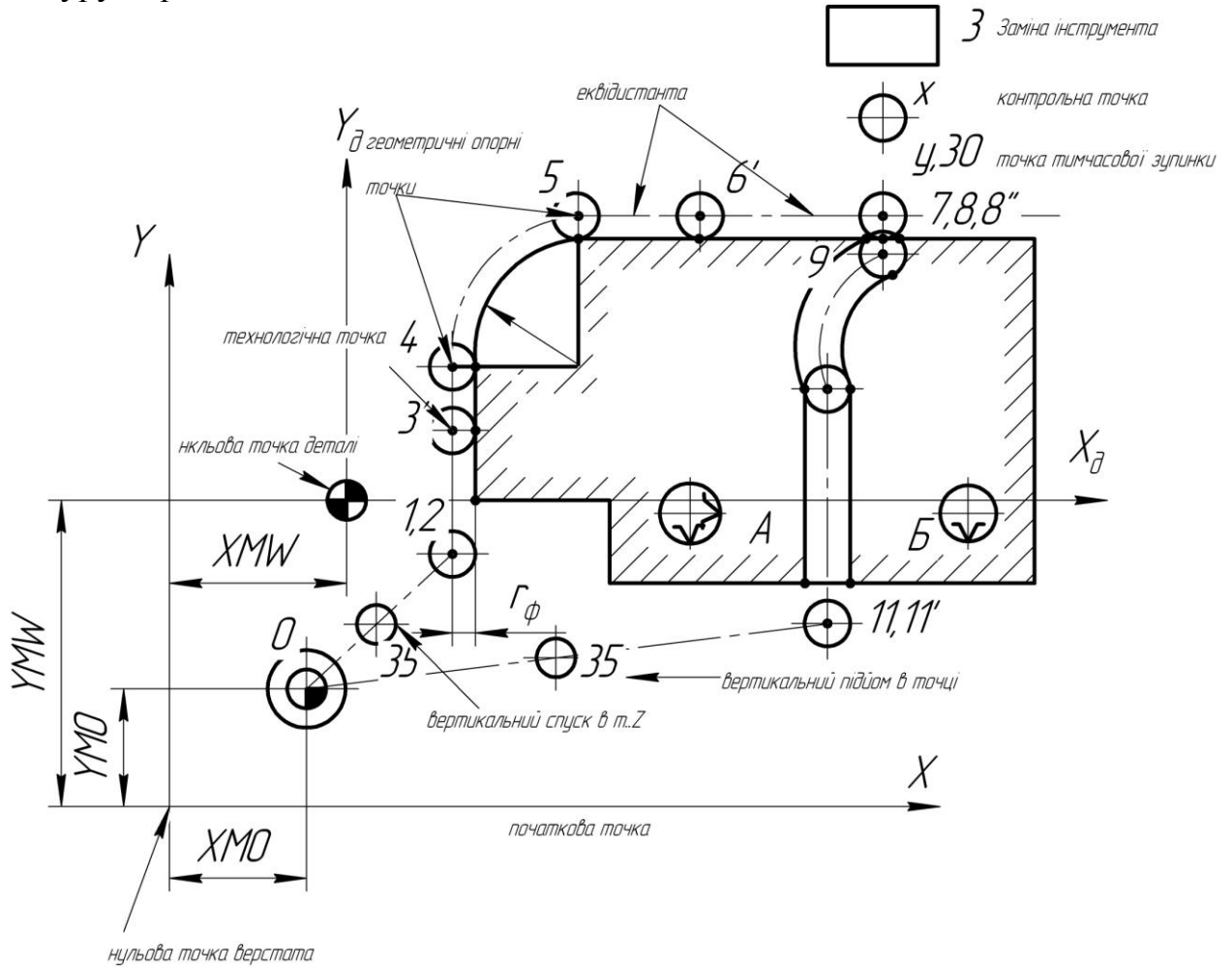
Траєкторія руху центра інструмента може суттєво відрізнятись від ліній контуру деталі. Але це трапляється тільки під час робочих ходів.



Відносно контуру оброблюваної деталі траєкторія центра інструмента може розташовуватись по-різному: співпадати з контуром, бути еквідистантою контуру, змінювати положення відносно контуру по визначеному закону.

Для повної обробки деталі траєкторія руху центра інструмента повинна бути безперечною. Визначити її як одне ціле практично дуже важко, оскільки часто програмована траєкторія достатньо складка. Тому на практиці траєкторія руху інструмента зображують складеною з окремих ділянок.

Ділянки траєкторії руху центра інструмента та усю траєкторію руху інструмента зручно зображати графічно, виходячи із зафіксованого положення контуру оброблюваної деталі.



Елементи траєкторії руху інструмента при програмованій обробці

## 2 Структура та форма запису програми обробки

Загальну структуру запису ПК, схему запису кадру визначає стандарт.

Для запису програми використовується міжнародний код **ІСО-7біт**, в якому інформація завжди записується адресним способом.

Значення символів адрес:

**X, Y, Z** — первинна довжина переміщень по осях **X, Y, Z**;

**A, B, C** — кут повороту відповідно навкруги **X, Y, Z**;

**U, V, W** — вторинна довжина переміщень по **X, Y, Z**;

**P, Q, R** — третинна довжина переміщень по **X, Y, Z**;

**R** — переміщення на швидкому ході по осі **Z**;

**G** — підготовча функція;

**F, E** — перша та друга функції подачі;

**S** — функція головного руху;

**N** — номер кадру;

**M** — допоміжна функція;

**T, D** — перша та друга функції інструменту;

**I, Y, K** — параметр інтерполяції або крок різі по відповідним осям **X, Y, Z**.

### Структура програми керування

При побудові **ПК** в кадрах програми записується тільки та геометрична, технологічна та допоміжна інформація яка змінюється по відношенню до попереднього кадру, тобто для більшості команд діє правило, за яким записана у кадрі команда не повторюється в подальших кадрах і відміняється лише іншою командою цієї групи, або спеціальною командою.

Існують жорсткі правила, щодо порядку розміщення службових команд (початок програми, початок кадру, кінець та інші), кодування назви програми та іншої службової інформації.

### Структура кадрів

Обов'язкові вимоги:

1. Кожний кадр утримує слово «номер кадру».

2. Послідовність запису інформаційних слів:

1 – підготовчі функції;

2 – розмірні переміщення в порядку **X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C**;

3 – параметр інтерполяції;

4 – функція подачі вказується безпосередньо за словом «розмірне переміщення» по цій осі;

5 – функція головного руху;

6 – допоміжна функція.

3. В межах одного кадру не повинні повторюватись слова «розмірні переміщення» та «параметр інтерполяції».

4. В межах одного кадру не допускається декілька слів «підготовча функція» одної групи.

### **Запис слів**

Кожне слово повинно утримувати: символ адреси, математичний знак (+ або –)(якщо треба), послідовність цифр.

Два способи запису слів:

1. Без використання десяткового знака, наприклад, 0012300.
2. З використанням десяткового знака, наприклад, 123000, 12.4.

Спосіб запису визначається характеристиками даного ПЧПК.

В сучасних ЧПК звичайно **переміщення вказується у міліметрах** та її долях. (Раніше використовувались кількість імпульсів, для чого потрібно було перераховувати розміри у міліметрах в кількість імпульсів відповідно до параметрів системи ЧПК та приводів верстата, які визначали дискретність переміщень). Розмірні переміщення вказують в абсолютних значеннях або приростах. Кутові розміри вказують у радіанах або градусах.

**Підготовчі функції** вказують кодовим числом.

**Функція подачі** – кодується числом та типом, що визначається кодом підготовчої функції.

Метод кодування – пряме позначення (мм/хв, мм/об).

**Функція головного руху** – визначає швидкість головного руху.

Кодується типом підготовчої функції та прямим позначенням (рад/с, об/хв).

**Функція інструмента** використовується для вибору інструмента.

Можливо одночасно задавати корекцію інструмента тоді записується дві групи цифр – код інструмента, величина корекції.

**Допоміжні функції** у всіх ЧПК записується кодовим числом.



## РОЗДІЛ 6 ПІДГОТОВКА ПРОГРАМ ОБРОБКИ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

### Лекція 12 Характеристика формату кадру. Принципи призначення параметрів запису функцій та координат переміщень. Значення основних підготовчих функцій

#### Формат кадру

Він залежить від конструктивних особливостей верстата, моделі ЧПК, методики програмування.

Формат характеризує порядок розташування слів в кадрі та структуру слова (кількість цифр для кодування переміщень, положення коми, кількість розрядів у інших розмірних командах).

Приклад.

**%:/DSNO3G2X+053Y+053Z+042F031S04T05M2**

**%** — початок програми;

**:** — головний кадр;

**/** — пропуск кадру;

**DS** — явна десяткова кома;

**N03** — 3-значний номер кадру. (**N1...N999** без нулів);

**G2** — підготовча функція – 2 знаки;

**X+053; Y+053** – переміщення зі знаком + або – (+ можна опускати) на цілу частину відводиться 5 рядків, на дрібну – 3 рядка, обов'язкова кома (**DS**), нулі можна не писати, приклад: 01280,500 – повне число, потрібно писати: 1280,5;

**Z+042** — 4 знаки до коми, 2 – після коми;

**F031** — функція подачі, метод прямого позначення, 3 цифри до коми, одна після;

**S04** — чотиризначна функція головного руху;

**T05** — функція інструмента;

**M2** — двозначна допоміжна функція.

#### Значення основних підготовчих функцій

**G00** – швидке позиціонування (переміщення у запрограмовану точку з максимальною швидкістю, рухи по осям координат можуть бути некоординованими);

**G01** – лінійна інтерполяція (забезпечується постійне відношення між швидкостями по осям координат, пропорційне відношенню відстаней між початковою та кінцевою точками по двом чи більше координатам; у прямокутній системі координат рух відбувається по прямій лінії);

**G02...G03** – колова інтерполяція (контурне керування для отримання дуги кола, коли векторні швидкості по осям координат, що утворюють дугу, змінює пристрій керування);

- G02** – колова інтерполяція за годинниковою стрілкою (рух направлено за годинниковою стрілкою, якщо дивитись зі сторони позитивного направлення осі, що перпендикулярна до оброблюваної поверхні);
- G03** – колова інтерполяція проти годинникової стрілки (рух направлено проти годинникової стрілки, якщо дивитись зі сторони позитивного направлення осі, що перпендикулярна до оброблюваної поверхні);
- G04** – пауза (часова затримка, значення якої задається програмою, для виконання операцій, що виконуються відомий час і не потребують відповіді про виконання);
- G06** – параболічна інтерполяція (контурне керування для отримання дуги параболи, коли векторні швидкості по осям координат, що утворюють дугу, змінює пристрій керування);
- G08** – розгін (автоматичне збільшення швидкості на початку руху до запрограмованого значення);
- G09** – гальмування (автоматичне зменшення швидкості руху відносно запрограмованої під час наближення до запрограмованої точки);
- G17...G19** – вибір площини для інтерполяції чи корекції інструмента (призначення площини для функцій колова інтерполяція, корекція на інструмент та ін.);
- G41...G44** – корекції на інструмент (корекція координати центра фрези під час контурного фрезерування в залежності від розташування фрези відносно оброблюваної поверхні та позначення здійснення корекції – додатної або від'ємної);
- G53** – відміна заданого зміщення (відміна будь-якої з функцій **G54...G59**, діє лише у кадрі, де записана);
- G54...G59** – зміщення нуля деталі відносно нуля верстата;
- G80** – відміна постійного циклу (відміняє будь-який постійний цикл);
- G81...G89** – постійний цикл;
- G90** – абсолютні розміри (відлік переміщень здійснюється відносно вибраної нульової точки);
- G91** – розміри у приростах (відлік переміщень здійснюється відносно попередньої програмованої точки);
- G96** – постійна швидкість різання (вказане число дорівнює швидкості різання у м/хв., при цьому частота обертання шпинделя регулюється автоматично з метою підтримання програмованої швидкості різання);
- G97** – частота обертання шпинделя у обертах за хвилину.

У кожній з груп підготовчих функцій є резервні команди, які використовуються у конкретних моделях ЧПК для програмування додаткових команд.

### Значення допоміжних функцій

- M00** – програмована зупинка (без втрати інформації, робота продовжується натисканням кнопки);

- M02** – кінець програми;
- M03** – обертання шпинделя за годинниковою стрілкою;
- M04** – обертання шпинделя проти годинникової стрілки;
- M05** – зупинка шпинделя;
- M06** – заміна інструмента;
- M07, M08** – вмикання охолодження 1 та 2 (рідиною, масляним туманом);
- M09** – вимикання охолодження;
- M10, M11** – затискання та відпускання (стосується пристосувань);
- M19** – зупинка шпинделя в заданій позиції (кутовій для зміни інструмента, багатозахідна різь).

## **Лекція 13 Підготовка програм обробки деталей на фрезерувальних верстатах з ЧПК**

Будь-який отвір – наскрізний або глухий – формується з основних та додаткових елементів.

Основні елементи (для наскрізних та глухих отворів):

- отвір гладкий циліндричний;
- циліндричний з різьєю;
- гладкий конічний;
- конічний з різьєю.

Додаткові елементи: фаски, канавки, заглиблення, внутрішні та зовнішні торці.

Будь-який складний отвір можна розглядати як сукупність окремих ділянок основних типів, розташованих вздовж осі.

Для обробки отворів застосовують наступні типові переходи:

1. Центрування (свердло, конусна зенківка, спец інструмент);
2. Чорнова обробка (свердло, зенкер, різець, фреза);
3. Обробка торця;
4. Конічне зенкування;
5. Пряме зенкування;
6. Конічне зенкування фасок;
7. Різенарізація;
8. Напівчистова обробка (зенкер, різець);
9. Обробка канавок;
10. Чистова обробка (розвертка, різець).

Виходячи із заданих параметрів отворів, вимог до їх точності розробляється маршрут обробки та обирається інструмент.

Наступним етапом призначають режими обробки. Якщо деталь утримує багато отворів, то значну проблему створює вибір метода обходу отвора. Існує паралельний метод обробки отворів та послідовний.

При паралельному методі кожний інструмент обходить усі отвори, які потрібно ним обробити, потім він замінюється і цикл повторюється.

При послідовному методі кожний отвір обробляється усіма необхідними інструментами, потім позиція змінюється і повністю обробляється наступний отвір.

Вибір метода пов'язаний з технологічними вимогами. Отвори 7-9 кв. або з допусками на міжосьову відстань  $< 0.2$  мм. Перші переходи виконують паралельним методом, кінцеві – послідовним.

Якщо особливих умов немає, то вибір метода полягає у розрахунках часу холостих переміщень при позиціонуванні та часу на заміну інструмента. Для паралельного метода  $T_{\text{пар}} = m (\tau + \theta)$ ,

Де  $m$  – число інструментів;

$\tau$  – середній час заміни інструмента;

$\theta$  – час обходу усіх отворів.

Для послідовного метода  $T_{\text{пос}} = n m \tau + \theta$ ,

Де  $n$  – кількість отворів, у групі, що обробляється.

Вибір маршруту обходу отворів у процесі обробки, часто задача досить складна. Застосовують спеціальні математичні методи, а також оптимізацію за допомогою спеціальних комп'ютерних програм.