

## СИСТЕМИ ЧПК ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

### Загальні відомості про керування

*Автоматизованою системою управління (АСУ)* називається людино-машинна система, що забезпечує ефективне функціонування об'єкта, в якій збирання та переробка інформації, необхідної для реалізації функцій управління, здійснюється із застосуванням засобів автоматизації та обчислювальної техніки. АСУ технологічного процесу (АСУ ТП) - це автоматизована система управління для вироблення та реалізації керуючих впливів на технологічний об'єкт управління відповідно до прийнятого критерію якості управління. АСУ ТП виконує дві функції: інформаційну та керуючу. Інформаційна функція АСУ ТП визначається як функція, метою якої є збір, перетворення, зберігання інформації про стан технологічного об'єкта управління, передача її для подальшої обробки. Керуюча функція АСУ ТП має на меті вироблення рішень та здійснення керуючих впливів на технологічний об'єкт управління, наприклад верстат.

Кожен верстат складається із пристроїв, які, взаємодіючи, виконують або сприяють виконанню тих функцій, для яких призначений верстат. Верстат можна розглядати як технологічний комплекс механізмів, що діють автономно та пов'язані між собою лише управлінням. *Управління верстатами* - процес здійснення впливів, необхідних для виконання обробки та вироблених на підставі певної інформації. Сукупність пристроїв, що забезпечують керування, називається системою керування. Джерелами інформації, що використовується при керуванні верстатами, є програма управління циклом, технологічна система, довкілля.

Програма управління циклом фізично матеріалізується на деякому предметі або в деякому пристрої, що називається програмоносієм. Існують два принципово різних способи завдання програми:

- 1) в аналоговому вигляді (профілем кулачків, копіїв, розстановкою упорів управління та кінцевих перемикачів);
- 2) у цифровому вигляді.

Завдання програми в аналоговому вигляді має дві основні недоліки.

Перший викликаний тим, що інформація креслення деталі із цифрової (дискретної) перетворюється на аналогову (у вигляді кривих кулачка тощо). Це призводить до похибок, що вносяться при виготовленні програмоносіїв (кулачків та ін.), а також при зносі в процесі експлуатації. Другим недоліком є необхідність виготовлення даних програмоносіїв з подальшим трудомістким налагодженням на верстаті. Це призводить до великих витрат коштів та часу та робить неефективним застосування аналогових систем автоматичного управління (САУ) для автоматизації серійного та дрібносерійного виробництва.

Проте гранична простота таких систем зумовлювала їхнє широке використання при виготовленні деталей в умовах масового та багатосерійного виробництва.

В даний час зберігається тенденція до зменшення серійності виробництва (за оцінками вітчизняних та зарубіжних фахівців зараз близько 80% всіх деталей виготовляються в умовах дрібносерійного та серійного виробництва). Часта зміна номенклатури оброблюваних деталей змушує відмовитися від використання завдання програми в аналоговому вигляді та перейти до числового завдання.

Результатом цього стало поява у 60-х роках систем числового програмного керування (ЧПК), у яких реалізації функцій управління широко використовуються дискретні (рідко аналогові) засоби обчислювальної техніки.

У системах ЧПК на всьому шляху підготовки програми керування аж до її передачі робочим органам верстата ми маємо справу лише з інформацією у цифровій (дискретній формі). Програма в цифровому вигляді визначається стандартним набором символів, який називається кодом. Носієм програми у цифровому вигляді (програмоносієм) служить перфо-

стрічка та магнітні носії.

Така програма фізично пов'язані з розмірами і точністю виготовлення деталі, як із застосуванні аналогових носіїв інформації. Тому виготовити її значно легше, швидше та дешевше, що особливо важливо при частій зміні виробів. Виготовлення такої програми полягає у розрахунку та запису інформації на програмоносії. Це можна виконати безпосередньо з пульта керування верстата або повністю автоматизувати за допомогою ЕОМ. У цьому основне значення застосування ЧПК для автоматизації верстатів та іншого технологічного обладнання.

### Числове програмне керування

*Числове програмне керування верстатом* – керування обробкою заготовки на верстаті по керуючій програмі, в якій дані задано у цифровій формі.

*Пристрій числового програмного керування верстатом* (ПЧПК) — пристрій, що формує керуючі на виконавчі органи верстата відповідно до керуючої програми та інформації про стан керованого об'єкта.

Основними функціями пристрою ЧПК є такі:

- прийом (введення), контроль та запам'ятовування програми керування (інакше - керуючої програми);
- обробка прийнятої керуючої програми (КП) та формування керуючих сигналів на виконавчі органи об'єкта керування (металорізального верстата, промислового робота тощо);
- стеження за станом об'єкта керування та корекція керуючих сигналів залежно від його стану;
- подання необхідного обсягу інформації (КП, керуючих сигналів, стану об'єкта і т. д.) у вигляді, зручному для сприйняття людиною (оператором);
- автоматичне (автоматизоване) визначення технічного стану об'єкта та системи керування, а також пошук місця виникнення відмови (тобто діагностування) з можливим автоматичним паркуванням (ремонт) відмови.

Перші дві з перерахованих функцій можуть бути віднесені до основних, оскільки вони визначають сам факт існування класу систем керування. Інші функції розглядаються як додаткові (сервісні), метою яких є досягнення покращених експлуатаційних характеристик (точніше та швидке керування, підвищену надійність, менший час ремонту тощо).

Систему підготовки програм керування верстатами можна як систему зовнішньої обробки інформації; ПЧПК - як систему внутрішньої обробки; а верстат - як систему реалізації програм.

Як правило, в металорізальному верстаті можна виділити виконавчі механізми, що працюють безперервно (для керування ними необхідно видавати керуючі сигнали практично безперервно в часі), і дискретні (для керування ними достатньо видавати сигнали типу "включити" або "вимкнути"). До працюючих механізмів слід віднести більшість приводів подачі, а прикладом дискретних механізмів є механізм зміни інструменту.

Системи керування взагалі, і системи ЧПК зокрема, поділяються на замкнуті та розімкнуті залежно від наявності чи відсутності про зворотних зв'язків, формують потік інформаційних повідомлень про стан об'єкта керування та перебіг протікання технологічного процесу. У системах керування верстатами можна виділити головні зворотні зв'язки, які забезпечують необхідний закон керування (формування траєкторії переміщення ріжучого інструменту), і місцеві вони забезпечують поліпшені експлуатаційні характеристики, наприклад, динамічні властивості системи меншу коливальність, більшу точність).

Розімкнуті системи ЧПК характеризуються лише потоком інформації, що спрямовується від програми керування до робочого органу верстата (рис. 11.3, а). Переміщення робочого органу верстата при цьому не контролюються і не зіставляються з переміщеннями заданими в П. Тому точність переміщення робочого органу, а отже і точність обробки визначається точністю передавальних механізмів приводу подачі. Ці системи порівняно із за-

мкнутими простіше конструктивно та дешевше, що визначає їхнє часте використання для керування простими верстатами нормальної точності.



Рис. 11.3. Структурні схеми САУ: а – розімкнена; б – замкнена з датчиком зворотнього зв'язку по положенню робочих органів; в – адаптивна

У замкнутих системах ЧПК два потоки інформації: один потік надходить від програми керування, а другий від датчиків зворотного зв'язку (рис. 11.3, б).

Для замкнутих систем характерний потік внутрішньої інформації, що надходить від датчиків зворотного зв'язку, що безперервно контролюють положення та стан виконавчих механізмів. Ця інформація постійно коригує процес керування, усуваючи розбіжність між програмою та її виконанням. Ці системи, порівняно з розімкненими, забезпечують більшу точність, обробку, але складніше і дорожче. Тому вони застосовуються переважно при керуванні складними верстатами підвищеної точності.

У випадках експлуатації верстата при можливих змінах умов обробки (якщо необхідно зважати на впливи, що обурюють) доцільно застосування замкнутих систем, що використовують принципи адаптивного керування - керування, при якому забезпечується автоматичне пристосування процесу обробки заготовки до змінних умов обробки за певними критеріями. У цих системах є додаткові потоки інформації, що дозволяють коригувати процес обробки з урахуванням деформацій технологічної системи та ряду випадкових факторів, таких як коливання припуску, твердість заготовлі тощо (див. рис. 11.3, в).

### Принцип дії верстатів з ЧПК

Принцип дії верстатів з ЧПК розглянемо з прикладу роботи токарного верстата. Для цієї деталі розробляється технологічний процес обробки з урахуванням основних положень курсу «Технологія машинобудування» із зазначенням послідовності обробки поверхонь, ріжучого інструменту, режимів різання тощо.

Найпростішими складовими процесу обробки є елементарні переміщення та технологічні команди, що відпрацьовуються ПЧПК. Послідовність елементарних переміщень і технологічних команд, записана в кодованому вигляді на програмі, визначає зміст керуючої програми. Послідовність елементарних переміщень і технологічних команд, записана в кодованому вигляді на програмі, визначає зміст керуючої програми.

Для однозначного опису взаємного положення деталі та інструменту у процесі оброб-

ки використовують системи координат верстата, деталі та інструменту. Система координат верстата нерухома, а системи координат деталі та інструменту рухливі.

Початок системи координат деталі розташуємо в торці деталі і повідомимо їй обертальний рух навколо осі Z (див. рис. 11.4). Задамо вихідне положення револьверної головки щодо нерухомої системи координат верстата та положення вершини інструменту (координати  $X_{и}Z_{и}$ ). Опишемо профіль виробу координатами опорних точок, а заготівлі повідомимо обертальний рух. Якщо повідомити вершині інструменту рух від однієї опорної точки до іншої, можна виконати обробку відповідно до заданої програми.

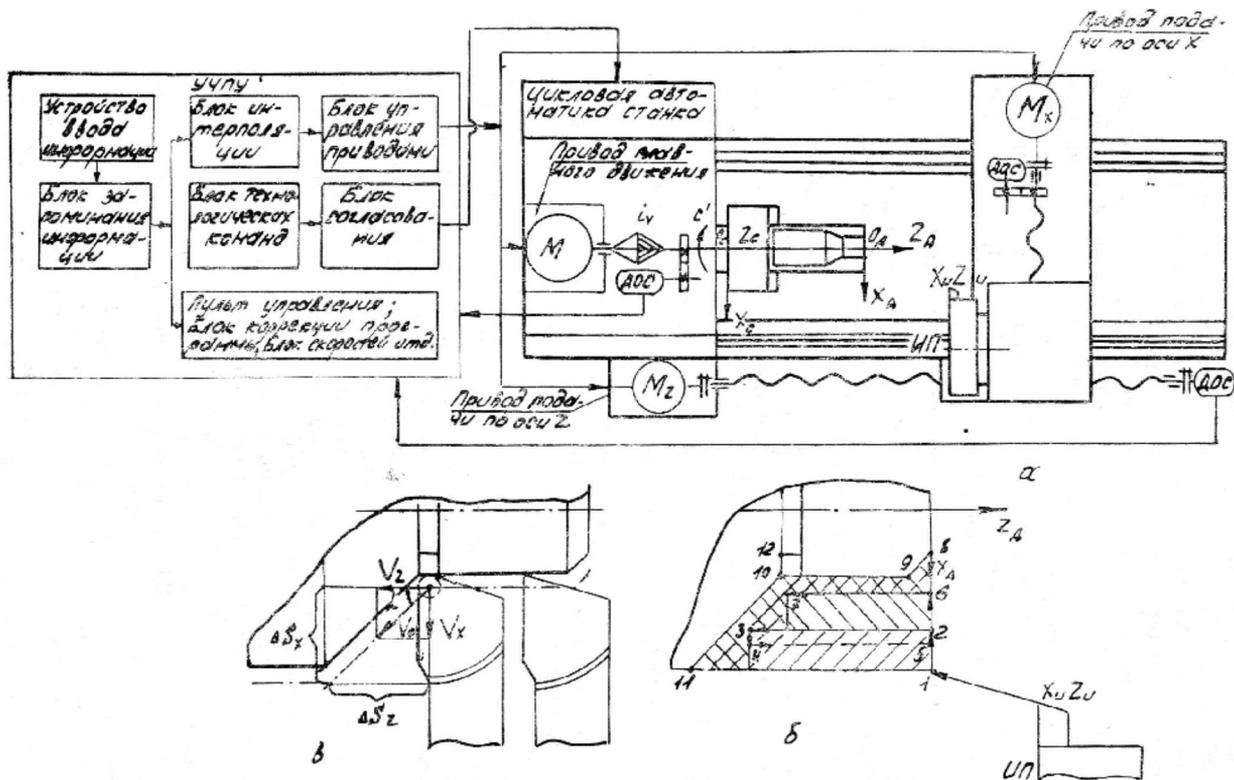


Рис. 11.4. Токарний верстат з ЧПК: а – структура числового програмного керування токарним верстатом; б – схема переміщень інструменту під час виготовлення деталі; в – формування швидкості подачі вздовж контуру

Розглянемо докладніше принцип обробки з прикладу деталі, наведеної на рис. 11.4, б. Програма містить технологічні команди на включення обертання шпинделя із заданою частотою і в заданому напрямку, переміщення револьверної головки у вихідне положення (ВП) та встановлення заданої позиції револьверної головки, в якій вершина інструменту встановлена в координати  $X_{и}Z_{и}$ . Задається координата точки 1 і величина подачі (швидкість холостого ходу  $V_{xx}$ ). В ПЧПК ця інформація переробляється і за рахунок одночасної роботи приводів по осях X та Z вершина інструменту переміщується в точку 1. Задамо координати точки 2, величину робочої подачі та за рахунок роботи приводу по осі X вершина різця переміститься в точку 2. Задамо координати точки 3 і за рахунок роботи приводу, осі Z, вершина різця переміститься в точку 3. Задаючи послідовно координати точок 4-5-6-7, виконаємо чорнову обробку і повернемо револьверну головку у вихідне положення. Задамо режими чистої обробки. Програмуючи послідовно координати точок 8-9-10-11, виконаємо чистову обробку. Програмуємо зміну інструменту. По цій команді револьверна головка повертається у вихідне положення, де відбувається поворот її в задану позицію, в якій встановлено відрізнальний різець. Координати вершини відрізного різця були введені в ПЧПК при налагодженні верстата і зберігаються в пам'яті (в оперативному пристрої - ОЗП)\*. Програмуємо режими обробки. Задамо послідовно координати точок 10-12 і здійснимо обробку канавки.

Під час програмування подач швидкість робочих ходів визначається технологією ви-

готовлення деталі, а швидкість холостих ходів визначається можливостями верстата. Розглянемо докладніше роботу ПЧПК та приводів подач при обробці ділянки 10-11. Початкове положення: різець знаходиться в точці 10, програма рахована з програмоносія і знаходиться в блоці запам'ятовування, в якому відбувається поділ інформації, що міститься в КП, на:

- інформацію, що визначає траєкторію переміщення ріжучого інструменту (і/або деталі). Ця інформація надходить у блок інтерполяції;
- інформацію, що визначає послідовність роботи робочих органів верстата (включення - відключення приводу головного руху, зміну інструменту і т. д.). Ця інформація надходить у блок технологічних команд. Обидва потоки інформації можуть бути скориговані (частково змінені) залежно від умов обробки оператором за допомогою пульта керування (найчастіше з урахуванням оброблюваності матеріалу заготівлі або стану конкретного верстата оператор змінює швидкість подачі по відношенню до заданої в КП).

Блок інтерполяції здійснює інтерполяцію (відновлення) вказаної в КП за допомогою кількох чисел траєкторії переміщення робочого органу верстата. В результаті інтерполяції на приводи подач по осях X і Z верстата надходять управляючі сигнали у вигляді розподілених у часі та просторі імпульсів, які забезпечують узгоджену роботу обох приводів для відпрацювання заданого в КП контуру (траєкторії). При цьому задана в КП швидкість  $V_0$  переміщення вздовж контуру (див. рис. 11.4, в) в блоці інтерполяції розкладається на дві складові по осях координат  $V_x$  і  $V_z$  в залежності від кута  $\alpha$  нахилу швидкості  $V_0$  до осі Z (у випадку лінійної інтерполяції, тобто відтворення прямої лінії).

Блок інтерполяції в залежності від величини переміщень по координатних осях видає в блок керування приводами  $n_x$  імпульсів по осі X та  $n_z$  імпульсів по осі Z:

$$n_x = \frac{\Delta S_x}{t_{ux}}; \quad n_z = \frac{\Delta S_z}{t_{uz}},$$

де  $t_{ux}$  та  $t_{uz}$  – переміщення робочого органу при подачі одного керуючого імпульсу відповідно по осях X та Z;

$\Delta S_z$  - величина переміщення по осі Z;

$\Delta S_x$  – величина переміщення по осі X.

Час, за який має бути видана необхідна кількість імпульсів за кожною координатою:

$$T = \sqrt{\Delta S_x^2 + \Delta S_z^2} / v_0. \quad (1.2)$$

Частоти імпульсів за координатами X і Z будуть відповідно рівними:

$$f_x = \frac{v_0}{t_{ux}} \sin \alpha; \quad (1.3)$$

$$f_z = \frac{v_0}{t_{uz}} \sin \alpha. \quad (1.4)$$

Після закінчення відпрацювання відрізка траєкторії (тобто відпрацювання, як переміщення  $\Delta S_z$ , так і переміщення  $\Delta S_x$ ) починається відпрацювання наступного відрізка.

Блок керування приводу перетворює сигнали (імпульси) від блоку інтерполяції на вигляд, придатний для керування приводами подач по осях. При цьому вони подаються на приводи подач або у вигляді імпульсів (при використанні крокових двигунів), або в аналоговому вигляді (постійної або змінної напруги, що змінюється) при використанні постійних або асинхронних електродвигунів.

Приводи подач служать для переміщення робочих органів верстата з необхідною швидкістю та точністю при заданому моменті.

Блок технологічних команд і блок узгодження призначені для керування цикловою автоматикою верстата, що включає пошук і зміну інструменту, забезпечення затиску та розтискання деталей, включення та відключення системи мастила та інші допоміжні функції.

Системи ЧПК можна класифікувати за різними ознаками:

1. Виходячи з *технологічних завдань керування обробкою*, всі системи ЧПК поділяються на три групи: позиційні, контурні, комбіновані.

*Позиційне числове програмне керування* - керування верстатом, при якому переміщення його робочих органів відбувається в задані точки, причому траєкторії переміщення не задаються (див. рис. 1.5, а).

Таким чином, позиційні системи ЧПК можуть бути використані або при переміщенні робочого органу верстата без обробки (наприклад, при виведенні свердла в задану точку координат  $X$  і  $Y$ ), або при обробці тільки по одній координатній осі (переміщення свердла по осі  $Z$ ). Даними системами оснащуються в основному свердлильні та розточувальні верстати.

*Контурне числове програмне керування* - керування верстатом, при якому переміщення робочих органів відбувається по заданій траєкторії та із заданою швидкістю для отримання необхідного контуру обробки із заданою точністю в будь-якій точці, рис. 11.5б.

При обробці задається результуюча швидкість подачі вздовж контуру  $V_0$  (див. рис. 11.4, в і 11.5, б), яка забезпечує заданий режим обробки. Для отримання заданого контуру, в загальному випадку криволінійного, система керування витримує з високою точністю миттєве співвідношення швидкостей подачі одночасно по двох і більше координат ( $V_x/V_z$  на рис. 11.4, в) змінюється відповідним чином у часі (див. формулу 1.2).

Контурними системами керування оснащуються станки токарної, фрезерної та інших груп.

*Комбіноване числове програмне керування* поєднує функції контурного та позиційного числового програмного керування станками (рис. 11.5, в). Комбіновані пристрої ЧПК застосовують переважно для керування багатоопераційними станками.

Зазначимо, що на початку розвитку контурні та позиційні системи ЧПК різко відрізнялися схемою реалізації — позиційні системи ЧПК виходили значно простіше за контурні. В даний час системи ЧПК будуються на основі мікропроцесорів та мікроЕВМ, контурні та позиційні системи відрізняються лише програмним забезпеченням. Тому чисто позиційні системи не випускаються, проте системи ЧПК є контурними.

2. *За ступенем досконалості та функціональними можливостями* виділяють два основні типи систем ЧПК: NC (Numerical Control) та CNC (Computer Numerical Control).

Системи типу CNC виникли у зв'язку з широким використанням інтегральних мікросхем і мікроЕВМ з їхньої основи. Їх відмінною особливістю є, по-перше, програмованість, і, по-друге, наявність оперативної пам'яті для зберігання КП. Програмованість систем типу CNC дозволяє реалізувати всі функції керування програмним шляхом, в результаті чого за допомогою одного типу системи ЧПК можливо забезпечити керування, широким класом об'єктів керування, змінюючи лише програмне забезпечення системи. Очевидно, що така особливість значно полегшує експлуатацію системи.

Визначальним фактором у розвитку верстатів з ЧПК є розвиток електроніки. Моральне старіння ПЧПК настає швидше, ніж верстатів. Практично ПЧПК зазнають суттєвих змін через кожні 3—4 роки, тоді як конструкція верстатів за цей час лише незначно модифікується, і терміни їхнього морального старіння у 2—2,5 рази більші.

### Основні аспекти використання верстатів з ЧПК

Основним фактором, який зумовив необхідність створення та розвитку верстатів з ЧПК, була і залишається потреба автоматизації обробки в середньо- та дрібносерійному виробництвах. Основні переваги виробництва на базі верстатів з ЧПК, порівняно з виробництвом, що використовує універсальні верстати з ручним керуванням, такі:

- підвищення продуктивності праці за рахунок скорочення основного та допоміжного часу виготовлення деталі;
- інтенсифікація праці та підвищення стабільності обробки за рахунок усунення су-

б'єктивних факторів та зменшення стомлюваності робітника;

- можливість застосування багатOVERстатного обслуговування;
- підвищення точності та стабільності обробки;
- зниження витрат на спеціальні пристосування;
- скорочення термінів підготовки виробництва нових виробів;
- скорочення потреби у висококваліфікованих верстатниках та зміна складу працівників.

Застосування верстатів із ЧПК дозволило вирішити деякі соціальні питання: збільшити частку інтелектуальної праці, покращити умови праці робітників-верстатників. Вартість верстатів з ЧПК значно (у 3—10 разів) більша за вартість універсальних верстатів.

У той самий час середній коефіцієнт змінності становить 1,3—1,6, а коефіцієнт завантаження — 0,4—0,6. Постало питання про ефективніше використання дорогого обладнання.

Розробка багатоопераційних верстатів з ЧПК, оснащених пристроями автоматичної зміни заготовок та інструменту, робототехнічні та транспортні засоби та мікроелектронні системи керування, уможливили інтеграцію систем автоматичного проектування, планування, технологічної підготовки, керування виробництвом та автоматичного контролю в єдиний комплекс, що координується як єдине ціле багаторівневою системою керування.

Основні тенденції розвитку автоматизованих механоскладальних та механообробних виробництв: інтегрування систем, підвищення гнучкості, забезпечення безлюдного функціонування.