

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ОСНОВИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ЧПК

ТЕМА. ПОНЯТТЯ ЧПК І ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ ЧПК

Понятійний апарат: числове програмне керування, система ЧПК, верстат з ЧПК, керуюча програма, кадр, команда, координата, робочий орган, привод, датчик, зворотний зв'язок, інтерполяція, автоматизоване виробництво, технологічний процес, програмне забезпечення, пристрій ЧПК.

1. Поняття числового програмного керування

Числове програмне керування, або **ЧПК**, — це спосіб автоматичного керування робочими органами верстата за допомогою інформації, поданої у числовій формі. Така інформація записується у вигляді керуючої програми, яка містить послідовність команд для виконання технологічного процесу.

Керуюча програма визначає:

- траєкторію переміщення інструмента;
- швидкість подачі;
- частоту обертання шпинделя;
- увімкнення та вимкнення допоміжних пристроїв;
- зміну інструмента;
- подавання охолоджувальної рідини;
- порядок виконання технологічних переходів.



Наприклад, під час токарної обробки програма може містити команди на швидкий підвід інструмента, робочу подачу, точіння циліндричної поверхні, відвід інструмента та зупинку шпинделя.

На відміну від ручного керування, де оператор безпосередньо задає переміщення робочих органів, у системі ЧПК оператор переважно вводить, перевіряє та запускає підготовлену програму.

2. Система ЧПК

Система числового програмного керування — це сукупність взаємопов'язаних технічних і програмних засобів, які забезпечують автоматичне керування верстатом за керуючою програмою. До складу системи входять пристрій керування, приводи робочих органів, датчики, інтерфейс оператора та програмне забезпечення. Подібне визначення наведено в навчальних матеріалах з керування сучасними металорізальними верстатами. [learn.ztu.edu]

Система ЧПК це комплекс апаратних та програмних засобів, призначений для автоматизованого керування технологічним обладнанням (найчастіше — верстатами) на основі введеної в неї програми. В комплекс входить комп'ютер (цифровий контролер) на якому виконується спеціальне програмне забезпечення. По його командам електронні драйвери вмикають сервоприводи або інші механізми і додатково відслідковують правильність роботи цих механізмів.

Фактично це інформаційний центр верстата, який читає цифрові інструкції і точно виконує їх, переміщуючи інструменти та заготовку для виготовлення деталі. ЧПК та CNC (Computer numerical control) у сучасному контексті є синонімами, хоча термін CNC спочатку підкреслював використання саме комп'ютера як основного контролера.

Надійність та швидкість обчислень є двома фундаментальними властивостями сучасної системи ЧПК, що безпосередньо впливають на якість та економічну ефективність виробництва. При обробці складних поверхонь на сучасних 5-осьових верстатах вимагається майже миттєвого перерахунку координат одночасно для всіх осей. Повільний контролер не встигає виконувати ці розрахунки, що призводить до "рваного" руху, зниження якості поверхні та збільшеному зносу інструменту. Сучасні технології високошвидкісної обробки (HSM) базуються на здатності системи швидко обчислювати шлях

інструменту з великою кількістю дуже коротких лінійних сегментів. Для цього потрібна висока швидкість перетворення даних, яка вимірюється в сотнях або тисячах блоків коду в секунду. Це накладає умову необхідності високої швидкості обчислень в системах ЧПК.

Більшість систем ЧПК мають інтернет-підключення і дають змогу віддалено контролювати стан верстата, відправляти повідомлення про знос інструменту чи помилки, а також інтегруватися в гнучкі виробничі лінії.

Також системи підтримують інтеграцію з CAD/CAM-середовищами, автоматично перетворюють цифрові моделі у траєкторії руху інструменту, а також здатні оптимізувати ці траєкторії в реальному часі — наприклад, підлаштовуючи швидкість різання під фактичне навантаження на шпиндель.

Переважає більшість усіх систем ЧПК світу приймає управляючі програми в G-кодах. Сміливо можна заявити, що 99% усіх верстатів світу працюють саме на них. Але крім G-кодів, в сучасних системах з ЧПК використовуються інші мови програмування. Наприклад, деякі плазмові верстати з ЧПК приймають свою, особисту мову програмування.

Сучасні системи підтримують повну або часткову заміну старої системи управління верстатом на нову. Замість купівлі нового верстата, підприємство отримує обладнання з новими можливостями за значно нижчу вартість. Замінити можна як тільки стійку ЧПК, так і виконуючі механізми з сервоприводами.

Комплект системи ЧПК для інтеграції у верстат

Усі системи ЧПК повинні працювати в реальному масштабі часу. Це різновид комп'ютерних систем, які повинні не лише видавати правильний результат обчислень, але й гарантувати його видачу протягом строго визначеного часового інтервалу. Головна відмінність системи реального часу від звичайного комп'ютера полягає не в швидкості, а в передбачуваності. Якщо по технології вказано, що подача інструменту повинна бути 50 мм/хв, то система ЧПК повинна встигати переміщати інструмент з цією подачею по траєкторії будь-якої складності.

Система ЧПК виконує такі основні функції:

1. приймання керуючої програми;
2. зберігання та декодування команд;
3. розрахунок координат проміжних точок траєкторії;
4. формування сигналів керування приводами;
5. керування швидкістю та напрямком руху;
6. синхронізація рухів кількох координат;
7. керування допоміжними функціями верстата;
8. контроль стану обладнання;
9. виявлення та повідомлення про помилки;
10. взаємодія з оператором через пульт керування.



У сучасному верстаті ЧПК є центральною ланкою між технологічною програмою та виконавчими механізмами. Програма надходить до пристрою ЧПК, після чого система перетворює команди на електричні сигнали для приводів подачі, привода шпинделя та допоміжних пристроїв.

Комплект системи ЧПК для інтеграції у верстат

Усі системи ЧПК повинні працювати в реальному масштабі часу. Це різновид комп'ютерних систем, які повинні не лише видавати правильний результат обчислень, але й гарантувати його видачу протягом строго визначеного часового інтервалу. Головна відмінність системи реального часу від звичайного комп'ютера полягає не в швидкості, а в передбачуваності. Якщо по технології вказано, що подача

Опорний конспект лекцій 1_4 з дисципліни «Системи ЧПК в механообробці», викладач О.В.Гарбуз
інструменту повинна бути 50 мм/хв, то система ЧПК повинна встигати переміщати інструмент з цією подачею по траєкторії будь-якої складності.

3. Призначення систем ЧПК

Основне призначення системи ЧПК — забезпечити точне, узгоджене й автоматизоване виконання технологічних переміщень та операцій обробки.

У процесі роботи система повинна:

- забезпечити задану геометрію деталі;
- витримати запрограмовані розміри;
- підтримувати необхідну швидкість різання та подачу;
- синхронізувати рухи інструмента й заготовки;
- скоротити участь оператора в безпосередньому керуванні;
- забезпечити повторюваність обробки.

Системи ЧПК використовують на токарних, фрезерних, свердлильних, розточувальних, шліфувальних та багатоопераційних верстатах. Вони також застосовуються в роботизованих комплексах, автоматичних лініях і гнучких виробничих системах.

4. Місце ЧПК у структурі автоматизованого виробництва

У структурі автоматизованого виробництва система ЧПК є частиною ієрархії керування. Узагальнено її можна подати так:

проектування деталі → технологічна підготовка → створення керуючої програми → передавання програми у верстат → виконання обробки → контроль результату.

На етапі автоматизованого проектування створюють геометричну модель деталі. Далі технолог визначає послідовність операцій, вибирає інструмент, режими різання та базування. За допомогою САМ-системи формується керуюча програма, яка після перевірки передається до системи ЧПК.

У складніших виробничих структурах окремі верстати можуть бути об'єднані в гнучку виробничу систему. Обмін інформацією між обладнанням, системою планування та контролю може здійснюватися через промислові мережі або систему DNC.

Отже, ЧПК забезпечує зв'язок між цифровою технологічною інформацією та фізичним процесом виготовлення деталі.

5. Основні переваги верстатів з ЧПК

Порівняно з універсальним обладнанням із ручним керуванням верстати з ЧПК мають такі переваги:

- **вища точність**, оскільки переміщення задаються цифровою програмою;
- **висока повторюваність**, адже одна й та сама програма може виконуватися багато разів;
- **зменшення часу переналагодження** при переході на іншу деталь;
- **можливість обробки складних поверхонь** за багатокоординатними траєкторіями;
- **підвищення продуктивності** завдяки оптимізованим переміщенням і режимам різання;
- **зменшення кількості ручних операцій**;
- **зниження впливу людського фактора**;
- **можливість інтеграції з CAD/CAM-системами**;
- **автоматичний контроль аварійних і граничних станів**;
- **зручне зберігання та редагування технологічних програм.**

Водночас застосування ЧПК потребує кваліфікованого персоналу, належної підготовки керуючих програм, технічного обслуговування та дотримання правил безпеки.

6. Узагальнена структура системи ЧПК

Систему ЧПК умовно поділяють на три основні підсистеми:

1. **підсистема керування** — приймає та обробляє програму;
2. **підсистема приводів** — перетворює команди на механічні переміщення;
3. **підсистема зворотного зв'язку** — контролює фактичне положення або швидкість робочих органів.

Така триланкова структура використовується для пояснення принципу роботи системи ЧПК у навчальній літературі.[\[learn.ztu.edu\]](http://learn.ztu.edu)

У розімкненій системі команда передається до привода без перевірки фактичного результату. У замкненій системі датчики передають інформацію про фактичний рух назад до пристрою керування, що дає змогу виявляти та коригувати похибки. Навчальні матеріали з ЧПК підкреслюють, що замкнені системи можуть компенсувати помилки привода, а розімкнені — ні.[\[eclass.upatras\]](http://eclass.upatras)

Висновок. ЧПК є основою автоматизованого керування сучасними металообробними верстатами. Система ЧПК поєднує керуючу програму, електронний пристрій керування, приводи та датчики. Її використання забезпечує точність, продуктивність, повторюваність і можливість виготовлення деталей складної форми. Для фахівця зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» розуміння принципу дії ЧПК є необхідною основою для подальшого вивчення приводів, програмування, діагностики та експлуатації верстатів. Стандарт фахової передвищої освіти зі спеціальності 133 належить до галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Питання для самоперевірки

1. Що називають числовим програмним керуванням?
2. Що входить до складу системи ЧПК?
3. Які основні функції виконує пристрій ЧПК?
4. Яке місце займає система ЧПК у структурі автоматизованого виробництва?
5. Які переваги мають верстати з ЧПК порівняно з традиційними верстатами?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Один правильний варіант Що є основою керування верстатом з ЧПК? А. Керуюча програма Б. Ручне переміщення маховика В. Випадковий набір електричних сигналів	3. Декілька правильних варіантів Які функції може виконувати система ЧПК? А. Керування переміщеннями робочих органів Б. Декодування керуючої програми В. Формування матеріалу заготовки
2. Один правильний варіант Який пристрій перетворює команди керуючої програми на сигнали для приводів? А. Пристрій ЧПК Б. Механічний затискач В. Мазильна система	4. Декілька правильних варіантів Які переваги характерні для верстатів з ЧПК? А. Висока повторюваність обробки Б. Можливість виготовлення складних поверхонь В. Повна відсутність потреби в технічному обслуговуванні

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

1. Розглянути структурну схему системи ЧПК.
2. Визначити пристрій керування, приводи та датчики зворотного зв'язку.
3. Простежити інформаційний шлях: керуюча програма → пристрій ЧПК → привод → робочий орган.
4. Ознайомитися з панеллю оператора верстата.
5. Визначити режими роботи: ручний, покроковий, автоматичний, редагування та налагодження.

ТЕМА. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ ЧПК

Понятійний апарат: класифікація систем ЧПК, керуючий вплив, керована координата, одночасно керовані координати, інтерполяція, позиційна система ЧПК, контурна система ЧПК, комбінована система ЧПК, прямокутне формоутворення, криволінійне формоутворення, ступінь автоматизації, NC, CNC, DNC, HNC, інтерполятор, координатна вісь, траєкторія руху, кадр керуючої програми.

1. Загальні принципи класифікації систем ЧПК

Системи числового програмного керування класифікують за сукупністю ознак, оскільки одна й та сама система може одночасно характеризуватися кількома параметрами. Наприклад, система може бути замкненою, трикоординатною, контурною та CNC-системою.

Основними ознаками класифікації є:

- принцип формування керуючого впливу;
- кількість керованих координат;
- кількість координат, що переміщуються одночасно;
- вид інтерполяції;
- технологічне призначення;
- ступінь автоматизації;
- наявність або відсутність зворотного зв'язку;
- спосіб підготовки, введення та зберігання керуючої програми.

Класифікація дає змогу правильно вибрати систему ЧПК відповідно до конструкції верстата, складності деталі, технологічного процесу та вимог до точності обробки.

2. Класифікація за принципом формування керуючого впливу

За принципом формування керуючого впливу системи ЧПК поділяють на системи з програмним, адаптивним і комбінованим керуванням.

Види систем ЧПК

Класифікація систем ЧПК нараховує більше двадцяти розділів. Ми обмежимося тільки основними з них.

За типом побудови. Ця класифікація стосується апаратної частини системи керування.

Системи що використовують стандартний персональний комп'ютер з операційною системою, на якому встановлено спеціалізоване програмне забезпечення, наприклад, Mach3, LinuxCNC. Частіше застосовуються в деревообробних верстатах.

Автономні стійки ЧПК (фірм Fanuc, Siemens, Heidenhain, HAAS та інших). Це спеціалізовані промислові комп'ютери, розроблені виключно для керування верстатом. Вони забезпечують високу надійність в режимі реального часу.

За типом верстата та технологією обробки. Ця класифікація пов'язана більше з програмним забезпеченням, так як фізична структура «контролер – стійка – драйвера – приводи» на всіх верстатах однакова. А ось програмне забезпечення стійки ЧПК відрізняється. Наприклад, фрезерний ЧПК верстат має розвинуту систему емуляції траєкторії інструменту, працює з інструментальними магазинами на сотні позиції, контролює рух по 5 осям. В той же час токарні верстати з ЧПК можуть самостійно проектувати траєкторії інструменту по 2D контуру деталі, підтримують передачу заготовок від шпинделя до контр-шпинделя, мають специфічні цикли точіння.

За кількістю осей керування. Фактично це кількість механізмів, якими система може рухати одночасно. Кількість може доходити до 12 осей, наприклад, в верстатах з паралельною кінематикою. Стандартні системи виготовляють на 3 або 5 осей. Кількість обмежується фізично кількістю встановлених драйверів і обчислювальною потужністю контролера ЧПК.

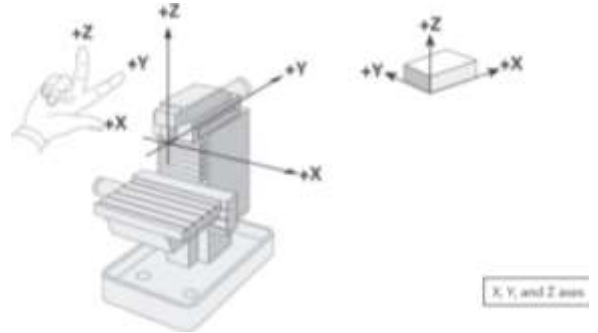
Важливо розрізняти:

- **кількість керованих координат** — загальну кількість осей, якими система може керувати;

- **кількість одночасно керованих координат** — кількість осей, рух яких система узгоджує в один момент часу.

Наприклад, позначення 3/2 може означати, що верстат має три керовані координати, але одночасно система інтерполює лише дві. Позначення 5/3 означає наявність п'яти керованих координат і можливість одночасного узгодженого руху трьох із них.

Зі збільшенням кількості координат розширюються технологічні можливості верстата, але ускладнюються конструкція, програмування, налагодження та контроль обробки.



За принципом створення керуючої програми.

На основі файлів керуючих програм які створюються за межами верстату.

На базі вбудованої системи САМ. Це можуть бути як автоматичне створення траєкторій на основі моделі деталі, так і складання програми з макросів обробки окремих поверхонь.

«Безпрограмне» керування коли програма пишеться автоматично по обробці першої деталі вручну. По компонуванню це універсальні верстати з інтегрованими приводами ЧПК. Верстатник оброблює першу деталь, а система ЧПК запам'ятовує рухи робочих органів і потім відтворює їх для обробки наступних деталей.

За способом керування приводами.

Відкрита система без зворотного зв'язку. Контролер не знає, чи точно виконано рух. Зазвичай використовуються в системах зі стандартним персональним комп'ютером.

Замкнена система зі зворотним зв'язком коли датчики положення передають інформацію контролеру, який коригує по ним рух. Існують системи, в яких датчики вимірюють не оберти приводів, а положення робочих органів верстату. Це забезпечує найвищу точність позиціонування.

За можливостями інтеграції.

Можливість керування додатковими механізмами. Наприклад, автоматичне закріплення заготовки або подача команди роботу на заміну заготовки.

Можливість приймати команди. Від простого сигналу на запуск обробки після автоматичної заміни заготовки зовнішнім роботом, до видачі інформації о своєму стану в контролер гнучкої автоматизованої ділянки.

Програмні системи

У програмних системах рухи робочих органів визначаються заздалегідь складеною керуючою програмою. Система послідовно зчитує кадри програми та формує команди для приводів.

Переваги програмного керування:

- простота підготовки технологічного процесу;
- висока повторюваність операцій;
- можливість обробки різних деталей після зміни програми;
- зручність автоматизації серійного виробництва.

Недоліком є те, що система не завжди враховує фактичну зміну умов обробки: зношування інструмента, коливання припуску, зміну твердості матеріалу або виникнення вібрацій.

Адаптивні системи

Адаптивні системи контролюють параметри процесу обробки за допомогою датчиків і за необхідності автоматично змінюють режими роботи. Система може коригувати подачу, частоту обертання шпинделя або положення робочого органа залежно від фактичного навантаження.

Наприклад, під час збільшення сили різання система може зменшити подачу, щоб запобігти перевантаженню інструмента або привода.

Комбіновані системи

Комбіновані системи поєднують програмне керування із функціями автоматичного контролю та коригування процесу. Вони використовуються у високопродуктивному обладнанні, гнучких виробничих системах і багатоопераційних верстатах.

3. Класифікація за видом інтерполяції

Інтерполяція — це математичний розрахунок проміжних координат, які забезпечують переміщення робочого органа за заданою траєкторією.

У керуючій програмі зазвичай задаються початкова та кінцева точки руху. Проміжні точки розраховує інтерполятор системи ЧПК.

За видом інтерполяції розрізняють:

Позиційне керування

Система забезпечує переміщення робочого органа з однієї заданої позиції в іншу. Траєкторія руху між цими позиціями може не мати технологічного значення.

Позиційні системи застосовують, наприклад, на свердлильних і розточувальних верстатах, коли важливо точно встановити інструмент над заданим отвором. У процесі переходу між позиціями обробка різанням зазвичай не виконується.[\[web.kpi.kharkov\]](http://web.kpi.kharkov)

Лінійна інтерполяція

Під час лінійної інтерполяції робочий орган переміщується по прямій лінії між двома заданими точками. Такий вид керування застосовують для прямолінійних ділянок обробки.

Кругова інтерполяція

Кругова інтерполяція забезпечує рух по дузі кола. Вона використовується під час обробки канавок, дуг, радіусних переходів, круглих контурів та інших криволінійних елементів.

Гвинтова та просторово-криволінійна інтерполяція

У багатоосьових системах можуть використовуватися гвинтова, циліндрична, сферична та інші види інтерполяції. Вони дають змогу обробляти складні просторові поверхні, зокрема лопатки, прес-форми, штампи та корпусні деталі.

4. Позиційні, контурні та комбіновані системи

Позиційні системи

Позиційна система ЧПК забезпечує встановлення робочого органа у задану координатну позицію. Основним результатом є правильне розташування інструмента або заготовки, а не форма траєкторії переміщення.

Приклади застосування:

- свердління групи отворів;
- розточування отворів;
- установлення інструмента у визначену точку;
- обробка деталей на координатно-розточувальних верстатах.

Переваги позиційних систем:

- відносно проста структура;
- нескладне програмування;
- зручність для обробки окремих отворів і технологічних позицій.

Контурні системи

Контурна система забезпечує узгоджене переміщення робочого органа за заданою траєкторією з установленою швидкістю. У цьому випадку важливими є не лише початкова та кінцева точки, а й форма всієї траєкторії.

Контурні системи застосовують на:

- токарних верстатах;
- фрезерних верстатах;
- обробних центрах;
- шліфувальних верстатах;
- верстатах для обробки складних профілів.

Під час контурного керування система одночасно координує рухи за двома або більше осями. Це дає можливість формувати прямолінійні, кругові та складні криволінійні поверхні.[\[studfile\]](http://studfile)

Комбіновані системи

Комбінована система поєднує позиційне та контурне керування. Вона може спочатку перемістити інструмент у задану позицію, а потім виконати обробку поверхні за запрограмованою траєкторією.

Такі системи особливо поширені на багатоопераційних верстатах і обробних центрах. Наприклад, верстат може виконати швидке позиціонування до отвору, свердління, переміщення до іншої позиції, а потім фрезерування контуру.

У навчальній класифікації позиційні системи часто позначають як Ф2, контурні — як Ф3, а комбіновані — як Ф4.[\[web.kpi.kharkov\]](http://web.kpi.kharkov)

5. Класифікація за ступенем автоматизації

За ступенем автоматизації системи та верстати з ЧПК можуть мати різний рівень участі оператора.

- **Системи з цифровою індикацією**

Такі системи відображають фактичне або задане положення робочих органів, але не виконують повного автоматичного циклу обробки. Оператор сам керує переміщеннями та використовує цифрові показники для точного позиціонування.

- **Системи з попереднім набором координат**

Оператор задає координати переміщення, після чого система допомагає виконати позиціонування робочого органа.

- **Циклові системи**

Циклова система виконує окремі технологічні цикли за заданою послідовністю. Оператор може задавати параметри переходів, а система автоматично реалізує запрограмований цикл.

- **Оперативні системи**

Оперативне керування передбачає введення або коригування програми безпосередньо біля верстата через пульт оператора. Це зручно під час одиничного та дрібносерійного виробництва.

- **Повністю автоматизовані системи**

Такі системи забезпечують автоматичне виконання всієї програми, включно з переміщеннями, зміною інструмента, керуванням допоміжними функціями та контролем окремих параметрів процесу.

6. Покоління систем ЧПК: від NC до CNC

Розвиток систем ЧПК відбувався разом із розвитком електроніки, обчислювальної техніки та програмного забезпечення.

NC — Numerical Control

Системи NC є раннім етапом розвитку числового керування. У них програма часто зберігалася на перфорованій стрічці або іншому зовнішньому носії. Функції системи були обмеженими, а зміна програми вимагала підготовки нового носія.

Для систем NC характерні:

- апаратна реалізація логічних функцій;
- обмежені можливості редагування програми;
- використання зовнішнього носія інформації;
- невисока гнучкість;
- складність внесення оперативних змін.

CNC — Computer Numerical Control

Системи CNC — комп'ютеризовані системи числового програмного керування. У них обчислення, зберігання програм, інтерполяція та діагностика виконуються мікропроцесорною або комп'ютерною системою.

Для CNC характерні:

- | | |
|---|---------------------------------|
| • внутрішня пам'ять для зберігання програм; | • автоматична діагностика; |
| • редагування програми на пульті; | • корекція на інструмент; |
| • цифрова інтерполяція; | • зв'язок із CAD/CAM-системами; |
| • підтримка технологічних циклів; | • підтримка промислових мереж. |

Системи CNC є основним типом систем керування сучасними металорізальними верстатами.

DNC — Direct або Distributed Numerical Control

Система DNC забезпечує передавання програм від центрального комп'ютера до одного або кількох верстатів. Вона може використовуватися для централізованого зберігання програм, їх розподілу, обліку та контролю.

HNC — Host Numerical Control

HNC передбачає використання центрального комп'ютера або хост-системи для підготовки, зберігання й передавання програм на верстати. Такий підхід застосовують у виробничих системах із розвинутою комп'ютерною інфраструктурою.

У сучасній практиці межі між окремими типами систем можуть частково перекриватися, однак позначення NC, CNC і DNC зберігають значення для опису рівня обчислювальної та мережевої організації керування. Системи NC виконують адресування команд, інтерполяцію проміжних координат і реалізацію циклів за жорстко заданими алгоритмами, тоді як CNC розширює ці функції завдяки комп'ютерному керуванню.[\[ela.kpi\]](#)

7. Приклад комплексної характеристики системи

Систему ЧПК фрезерного обробного центру можна охарактеризувати так:

- за принципом керування — програмна, з елементами адаптивного контролю;
- за зворотним зв'язком — замкнена;
- за кількістю координат — п'ятикоординатна;
- за одночасним керуванням — три або п'ять координат;

- за видом керування — контурна та комбінована;
- за видом інтерполяції — лінійна, кругова, просторово-криволінійна;
- за ступенем автоматизації — автоматична;
- за поколінням — CNC.

Отже, класифікація дає не одну характеристику, а цілісний технічний опис системи ЧПК.

Висновок. Системи ЧПК класифікують за кількома взаємопов'язаними ознаками: способом формування керуючого впливу, кількістю координат, видом інтерполяції, технологічним призначенням і ступенем автоматизації. Позиційні системи забезпечують точне встановлення робочого органа, контурні — рух за заданою траєкторією, а комбіновані поєднують обидва способи керування. Історичний розвиток систем від NC до CNC супроводжувався переходом від апаратно заданої логіки та зовнішніх носіїв до програмно-апаратних комп'ютеризованих систем із пам'яттю, діагностикою, інтерполяцією та мережевими можливостями.

Питання для самоперевірки

1. За якими основними ознаками класифікують системи ЧПК?
2. Чим відрізняються позиційні системи від контурних?
3. Що означає кількість одночасно керованих координат?
4. Яке призначення має інтерполятор у системі ЧПК?
5. У чому полягає відмінність між системами NC та CNC?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Одне правильне питання Яка система ЧПК забезпечує переміщення робочого органа в задану позицію без обов'язкового формування траєкторії обробки? А. Позиційна Б. Контурна В. Адаптивна	3. Декілька правильних відповідей Які характеристики належать до класифікаційних ознак систем ЧПК? А. Кількість керованих координат Б. Вид інтерполяції В. Колір захисного огороження верстата
2. Одне правильне питання Що означає абревіатура CNC? А. Комп'ютеризоване числове програмне керування Б. Контроль нового координатного привода В. Центральна система налагодження Правильна відповідь: А.	4. Декілька правильних відповідей Які ознаки характерні для сучасних CNC-систем? А. Зберігання керуючих програм у внутрішній пам'яті Б. Можливість редагування програм із пульта оператора В. Обов'язкове використання тільки перфорованої стрічки

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

1. За технічною документацією конкретного верстата визначити тип установленної системи ЧПК.
2. Встановити кількість керованих та одночасно керованих координат.
3. Визначити, чи є система позиційною, контурною або комбінованою.
4. З'ясувати, які види інтерполяції підтримує система.
5. Скласти повну характеристику системи за схемою:
тип керування → зворотний зв'язок → кількість координат → інтерполяція → технологічне призначення → рівень автоматизації → покоління ЧПК.

ТЕМА. РОЗІМКНЕНІ, ЗАМКНЕНІ ТА АДАПТИВНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Понятійний апарат: розімкнена система керування, замкнена система керування, адаптивна система керування, зворотний зв'язок, датчик положення, датчик швидкості, сигнал завдання, сигнал похибки, фактичне положення, задане положення, регулятор, привод подачі, двигун, тахогенератор, енкодер, вимірювальна лінійка, коригувальний сигнал, збурення, похибка позиціонування, самоприспособування, сила різання, потужність різання, навантаження шпинделя, стійкість інструмента.

1. Загальна характеристика систем керування

За наявністю та способом використання зворотного зв'язку системи ЧПК поділяють на:

- розімкнені;
- замкнені;
- адаптивні.

У розімкненій системі інформація рухається лише в одному напрямку: від керуючої програми до виконавчого органа. Замкнена система додатково отримує інформацію про фактичний результат руху від датчиків зворотного зв'язку. Адаптивна система використовує зворотний зв'язок не тільки для контролю положення чи швидкості, а й для пристосування режимів обробки до фактичних умов технологічного процесу. [elib.lntu.edu]

Узагальнено будь-яку систему керування можна подати так:

задане значення → пристрій керування → привод → робочий орган → результат руху.

Для замкненої системи додається канал:

робочий орган → датчик → пристрій порівняння → коригування керуючого сигналу.

2. Розімкнені системи керування

Принцип побудови

Розімкнена система керування — це система, у якій фактичний результат роботи не порівнюється із заданим значенням. Система ЧПК формує команду переміщення, передає її до привода, а привод переміщує робочий орган на розрахункову величину.

- Структурну схему розімкненої системи можна подати так:

керуюча програма → пристрій ЧПК → підсилювач → двигун → механічна передача → робочий орган.

У такій системі передбачається, що привод точно виконає отриману команду. Пристрій ЧПК не отримує інформації про те, чи справді робочий орган перемістився на задану відстань.

Наприклад, якщо у програмі задано переміщення супорта на 50 мм, система подає відповідний сигнал до крокового двигуна. Величина переміщення визначається кількістю поданих імпульсів і конструктивними параметрами привода.

- **Переваги розімкнених систем**

До основних переваг належать:

проста конструкція;

невисока вартість;

відносно просте налагодження;

невелика кількість датчиків;

зручність застосування у навчальному та малопотужному обладнанні;

надійність за стабільних умов експлуатації.

Розімкнені системи часто використовують із кроковими двигунами. Кожен імпульс керування відповідає певному куту повороту вала двигуна, а через ходовий гвинт перетворюється на лінійне переміщення робочого органа.

- **Недоліки розімкнених систем**

Основний недолік полягає у відсутності контролю фактичного результату. Якщо виникає пропуск кроків, люфт, надмірне навантаження або заклинювання механізму, система може продовжувати роботу, не усвідомлюючи помилки.

До недоліків належать:

неможливість автоматично компенсувати похибку позиціонування;

залежність точності від жорсткості механічної системи;

чутливість до люфтів і зношування;

ризик пропуску кроків двигуна;

відсутність контролю фактичного положення;

обмежена здатність працювати зі змінним навантаженням.

Розімкнена система придатна тоді, коли навантаження на привод відносно стабільне, а необхідна точність не є надзвичайно високою.

3. Замкнені системи керування

Принцип дії

Замкнена система керування має канал зворотного зв'язку, через який до пристрою керування надходить інформація про фактичний стан робочого органа або привода.

Структурна схема має вигляд:

задане значення → пристрій ЧПК → регулятор → привод → робочий орган → датчик → зворотний зв'язок.

У пристрої порівняння визначається похибка: $e(t) = x_{\text{зад}}(t) - x_{\text{факт}}(t)$,

де $e(t)$ — похибка керування, $x_{\text{зад}}(t)$ — задане значення, $x_{\text{факт}}(t)$ — фактичне значення координати.

Якщо фактичне положення відрізняється від заданого, система формує коригувальний сигнал для привода.

Зворотний зв'язок за положенням

У системі зі зворотним зв'язком за положенням контролюється координата робочого органа. Для цього застосовують:

- енкодери;
- кругові датчики положення;
- лінійні вимірювальні перетворювачі;
- фотоелектричні або магнітні датчики;
- індуктивні вимірювальні системи.

Датчик може бути встановлений на валу двигуна або безпосередньо на робочому органі. Якщо датчик розташований на двигуні, система контролює переважно кут його повороту. Якщо датчик встановлений на столі або супорті, він дає змогу контролювати фактичне лінійне переміщення з урахуванням похибок механічної передачі.

Зворотний зв'язок за положенням дає змогу:

- підвищити точність позиціонування;
- виявити відхилення від заданої координати;
- компенсувати частину похибок привода;
- контролювати переміщення під час роботи;
- зменшити вплив люфтів і неточності ходових механізмів.

Зворотний зв'язок за швидкістю

У системі зі зворотним зв'язком за швидкістю контролюється фактична швидкість обертання двигуна або переміщення робочого органа.

Для цього можуть використовуватися:

- тахогенератори;
- енкодери;
- імпульсні датчики;
- датчики швидкості обертання шпинделя або двигуна.

Похибка за швидкістю визначається як: $e_v(t) = v_{\text{зад}}(t) - v_{\text{факт}}(t)$

Якщо навантаження на двигун збільшилося і його швидкість зменшилася, система збільшує керуючий сигнал. Якщо швидкість перевищила задане значення, сигнал зменшується.

Зворотний зв'язок за швидкістю забезпечує:

- стабільність подачі;
- плавність руху;
- зменшення впливу зміни навантаження;
- покращення динамічних характеристик привода;
- точне підтримання частоти обертання.

Комбінований зворотний зв'язок

У сучасних приводах часто застосовують два контури керування:

- внутрішній контур швидкості;
- зовнішній контур положення.

Контур швидкості реагує швидко та стабілізує роботу двигуна. Контур положення забезпечує точне досягнення заданої координати. Така структура широко використовується у сервоприводах верстатів з ЧПК.

Переваги замкнених систем

- висока точність позиціонування;
- автоматичне виявлення відхилень;
- компенсація частини похибок;
- краща робота при змінному навантаженні;
- підвищена жорсткість системи керування;
- можливість застосування високошвидкісних сервоприводів.

Недоліки замкнених систем

- складніша конструкція;
- вища вартість;
- потреба в точних датчиках;
- складніше налагодження;
- можливість виникнення коливань або нестійкості за неправильного налаштування регуляторів;
- необхідність регулярного контролю датчиків і кабельних з'єднань.

4. Адаптивні системи керування

Поняття адаптивного керування

Адаптивна система керування — це система, яка автоматично змінює параметри керування залежно від фактичних умов роботи верстата та процесу обробки.

На відміну від звичайної замкненої системи, яка контролює переважно положення або швидкість, адаптивна система аналізує технологічні параметри:

- силу різання;
- потужність різання;
- момент на шпинделі;
- навантаження двигуна;
- вібрації;
- температуру;
- зношування інструмента;
- якість поверхні.

Схема адаптивного керування:

керуюча програма → система ЧПК → верстат і процес різання → датчики технологічних параметрів → адаптивний регулятор → зміна режимів обробки.

Адаптивне керування розглядають як систему зі зворотним зв'язком, у якій параметри процесу автоматично пристосовуються до реальних умов обробки. [ykoren.engin.umich]

Принцип роботи

Перед обробкою встановлюється заданий або допустимий рівень параметра. Наприклад, задається допустиме навантаження шпинделя.

Датчик вимірює фактичне навантаження.

Система порівнює його із заданим рівнем.

Обчислюється відхилення.

Адаптивний регулятор визначає необхідну зміну режиму.

Система змінює подачу, швидкість або інший параметр.

Процес повторюється протягом усієї обробки.

Якщо сила різання або навантаження зростає, система зменшує подачу. Якщо навантаження зменшується, подача може бути збільшена в межах установлених обмежень. Такий принцип дає змогу підтримувати близьке до оптимального навантаження на інструмент і привод. [cadem]

Основні різновиди адаптивних систем

Адаптивне керування з обмеженнями

Система підтримує певний параметр у допустимих межах. Наприклад, не допускає перевищення максимальної сили різання, потужності шпинделя або температури.

Адаптивне керування з оптимізацією

Система намагається автоматично вибрати такі режими різання, за яких досягається найвища продуктивність за умови дотримання вимог до якості, точності та безпеки.

На практиці важливо не лише збільшити швидкість обробки, а й не перевищити допустимі навантаження на інструмент, шпиндель і заготовку.

5. Сфера застосування адаптивного керування

Адаптивні системи доцільно застосовувати, коли умови різання змінюються під час обробки. Типові випадки:

- фрезерування заготовок зі змінним припуском;
- обробка литих поковок із нерівномірною твердістю;
- чорнове фрезерування;
- обробка важкооброблюваних матеріалів;
- високошвидкісна обробка;
- виготовлення деталей складної форми;
- робота з інструментом, який поступово зношується;
- обробка на багатоопераційних верстатах.

Під час чорнового фрезерування припуск може змінюватися вздовж траєкторії. Якщо подача постійна, навантаження на інструмент буде нерівномірним. Адаптивна система може зменшувати подачу на ділянках із великим припуском і збільшувати її там, де матеріалу знімається менше.

6. Переваги адаптивних систем

До основних переваг належать:

- підвищення продуктивності;
- скорочення машинного часу;
- раціональніше використання потужності верстата;
- зменшення ризику поломки інструмента;
- збільшення стійкості інструмента;
- стабілізація навантаження на шпиндель;
- зниження ймовірності виникнення вібрацій;
- підвищення стабільності якості поверхні;
- зменшення впливу нестабільності заготовки;
- зниження потреби в постійному втручанні оператора.

Дослідження адаптивного керування подачею показують, що підтримання близького до сталого навантаження інструмента сприяє скороченню часу обробки, збільшенню стійкості інструмента та підвищенню точності.[\[link.springer\]](https://link.springer)

Під час зниження навантаження система може збільшити подачу, а під час небезпечного зростання — зменшити її, що допомагає захистити інструмент від пошкодження.[\[jamme.acmsse.h2\]](https://jamme.acmsse.h2)

7. Обмеження адаптивного керування

Адаптивні системи не усувають усіх технологічних проблем. Їх ефективність залежить від:

- правильного вибору датчиків;
- точності вимірювання;
- швидкодії системи керування;
- правильного налаштування алгоритмів;
- адекватного вибору допустимих меж;
- жорсткості верстата;
- стану інструмента та пристрою його закріплення.

Неправильне налаштування може спричинити часті зміни подачі, нестабільність процесу або небажані коливання. Тому адаптивне керування повинно доповнювати, а не замінювати правильний вибір інструмента, режимів різання та технологічної схеми.

Порівняння систем керування

ознака	розімкнена система	замкнена система	адаптивна система
зворотний зв'язок	відсутній	є	є
основний контрольований параметр	не контролюється	положення або швидкість	параметри руху та процесу різання
реакція на похибку	відсутня	коригування руху	коригування режимів і руху
складність	низька	середня або висока	висока
вартість	найнижча	вища	найвища
типовий привод	кроковий двигун	сервопривод	сервопривод із технологічними датчиками
застосування	просте обладнання	точні верстати	високопродуктивне та складне виробництво

Висновок. Розімкнені системи керування мають просту будову, але не контролюють фактичне виконання команди, тому їхня точність залежить від стану механічної системи та стабільності навантаження. Замкнені системи використовують зворотний зв'язок за положенням, швидкістю або обома параметрами, що забезпечує точніше та стабільніше керування. Адаптивні системи додатково контролюють параметри процесу різання і автоматично змінюють режими обробки. Їх застосування дає змогу підвищити продуктивність, зменшити зношування інструмента та забезпечити стабільнішу якість обробки.

Питання для самоперевірки

Що називають розімкненою системою керування?

Які переваги та недоліки мають розімкнені системи ЧПК?

Яке призначення має зворотний зв'язок за положенням?

Чим відрізняється зворотний зв'язок за швидкістю від зворотного зв'язку за положенням?

Як адаптивна система змінює режим обробки під час зростання навантаження на шпиндель?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Одне правильне питання Яка система керування не має каналу зворотного зв'язку? А. Розімкнена Б. Замкнена В. Адаптивна	3. Декілька правильних відповідей Які переваги мають замкнені системи керування? А. Компенсація частини похибок позиціонування Б. Контроль фактичного положення робочого органа В. Повна відсутність потреби в датчиках
2. Одне правильне питання Який пристрій використовують для контролю фактичного положення робочого органа? А. Датчик положення Б. Пристрій подавання мастила В. Захисне огороження	4. Декілька правильних відповідей Які параметри можуть контролюватися адаптивною системою під час обробки? А. Сила різання Б. Навантаження шпинделя В. Колір фарбування верстата

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

Побудувати структурну схему розімкненої системи керування приводом подачі.

Додати до цієї схеми датчик положення та показати канал зворотного зв'язку.

Порівняти роботу системи при відсутності та наявності зворотного зв'язку.

Навести приклад зміни подачі адаптивною системою під час збільшення припуску.

Визначити, який тип системи використовується на навчальному верстаті: розімкнений, замкнений чи адаптивний.

ТЕМА. ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА СИСТЕМИ ЧПК

Понятійний апарат: система ЧПК, пристрій керування, контролер ЧПК, програма обробки, інтерполятор, PLC, пульт оператора, привод подачі, привод шпинделя, сервомотор, підсилювач, робочий орган, координатна вісь, датчик положення, датчик швидкості, енкодер, виміррювальна лінійка, зворотний зв'язок, команда керування, інформаційний потік, силовий потік, допоміжні функції, виконавчий механізм.

1. Загальна будова системи ЧПК

Система ЧПК є комплексом апаратних і програмних засобів, призначених для автоматичного керування верстатом за керуючою програмою.

У загальному вигляді її структуру можна подати так:

керуюча програма → пристрій ЧПК → приводи → робочі органи верстата → процес обробки.

Системи ЧПК складаються з апаратних, програмних та інформаційних компонентів.

Компонент	Опис	Вигляд компоненту
Контролер ЧПК	Процесорний модуль, що інтерпретує програми, розраховує траєкторії та посилає команди на драйвери приводів. Обробляє коди в реальному часі.	
Стійка керування	Інтерфейс оператора: дисплей, клавіатура, кнопки. Для введення, моніторингу та редагування. Іноколи тільки її помилково називають «система ЧПК».	
Програмний інтерфейс	Програма інтерпретатор управляючих програм. Обчислює координати руху робочих органів і видає команди на драйвери приводів. Інтегрується з CAD/CAM.	
Драйвери приводів	Інтерпретують і підсилюють сигнали від контролера ЧПК до приводів. Зазвичай мають модульну структуру: окремо для кожної осі або шпинделя.	
Приводи та сервоприводи	Електричні/гідравлічні мотори для руху осей верстату, обертання шпинделів тощо. Забезпечують точність позиціонування.	
Датчики та зворотний зв'язок	Сенсори для моніторингу позиції (інколи швидкості, зусилля). Підтримують «закрите» керування.	

Виконавчі механізми

Верстатне обладнання: гальма шпинделю, інструментальний магазин та інше.



Для замкненої системи додається канал контролю:

робочі органи → датчики → пристрій ЧПК.

Основними складовими системи ЧПК є:

- пристрій керування;
- пульт оператора;
- приводи робочих органів;
- привод головного руху;
- датчики зворотного зв'язку;
- програмовані логічні контролери;
- електрообладнання та силові перетворювачі;
- програмне забезпечення;
- інтерфейси зв'язку із зовнішніми пристроями.

До складу CNC-комплексу зазвичай входять контролер, приводи, сервомотори, виконавчі механізми та датчики зворотного зв'язку. [\[rskr.irimee\]](http://rskr.irimee)

Принцип роботи системи ЧПК

Послідовність роботи системи ЧПК, є невід'ємною від наладки верстату, створення управляючих програм, обслуговування. Про ці аспекти ви можете почитати в інших наших публікаціях на цьому сайті.

- При запуску відбувається самодіагностика та діагностика підключеного обладнання. Наприклад, перевіряються кінцеві вимикачі захисних дверей.

Отримання файлу керуючої програми.

Його можна отримати з комп'ютерної мережі, флешки або вводу вручну.

Також файл можна спроектувати на самій системі ЧПК у інтегрованій САМ (системі підготовки управляючих програм).

Процес перевірки та тестування управляючої програми перед її виконанням на верстаті. Під час такої верифікації програми проводиться перевірка кодів та візуалізація траєкторії інструменту на екрані стійки.

Наладка верстату під час якої система ЧПК запам'ятовує взаємне розташування робочих органів.

- Виконання управляючої програми.

Контролер розраховує координати робочих органів верстату і подає низьковольтні електричні сигнали на драйвери приводів.

Драйвера перетворюють сигнали в імпульси для приводів, підсилюють їх і подають на приводи.

Під дією цих силових електричних імпульсів приводи виконують точні механічні оберти. Для роботи шпинделів цього вже достатньо. Для роботи осей ці оберти через механічні передачі додатково перетворюються у лінійні переміщення.

Одночасно контролер отримує інформацію від датчиків і корегує по ним свою роботу.

- Завершення виконання програми.

Контролер подає команду драйверам на вимкнення.

Після цього розблоковуються захисні механізми і подається сигнал оператору про завершення циклу.

Також по програмі система ЧПК може взаємодіяти з зовнішніми пристроями. Наприклад, подавати команду зовнішньому роботу-маніпулятору на заміну заготовки. Або навпаки, приймати сигнал на запуск обробки від загальної системи керування гнучким автоматизованим виробництвом.

2. Пристрій керування

Пристрій керування є центральною частиною системи ЧПК. Він приймає керуючу програму, розшифровує її команди, розраховує траєкторію руху та формує сигнали для приводів.

Основні функції пристрою ЧПК:

- введення програми;
- зберігання програми в пам'яті;
- декодування команд;
- розрахунок проміжних координат;
- виконання лінійної та кругової інтерполяції;
- формування сигналів для приводів;
- керування швидкістю подачі;
- керування частотою обертання шпинделя;
- керування зміною інструмента;
- контроль датчиків і стану верстата;
- виявлення несправностей;
- обмін інформацією з оператором.

У сучасних системах пристрій ЧПК може бути виконаний як спеціалізований контролер або як промисловий комп'ютер із відповідним програмним забезпеченням.

3. Приводи робочих органів

Привод призначений для перетворення електричного керуючого сигналу на механічний рух робочого органа.

До складу привода зазвичай входять:

- регулятор або драйвер;
- силовий перетворювач;
- електродвигун;
- механічна передача;
- гвинтова пара або лінійний модуль;
- датчик положення чи швидкості.

Приводи поділяють на:

приводи подачі — забезпечують переміщення супорта, стола, повзуна або іншого робочого органа;

привод головного руху — забезпечує обертання шпинделя;

допоміжні приводи — керують зміною інструмента, затисканням заготовки, поворотом стола та іншими механізмами.

Привод подачі має забезпечувати необхідні швидкість, точність, плавність і динаміку переміщення. Привод шпинделя повинен підтримувати задану частоту обертання та необхідний крутний момент.

Керуючий пристрій передає сигнали на підсилювачі та двигуни окремих координат. Система привода перетворює ці сигнали на переміщення робочих органів. [elearn.psgcas.ac]

4. Датчики зворотного зв'язку

Датчики зворотного зв'язку вимірюють фактичний стан верстата і передають інформацію до пристрою ЧПК.

У системах ЧПК контролюють:

- положення робочих органів;
- швидкість переміщення;
- частоту обертання шпинделя;
- крайні положення;
- наявність інструмента;
- положення затискних пристроїв;
- навантаження на привод;
- температуру або вібрації.

Найпоширеніші датчики:

- **енкодери** — визначають кут повороту та положення вала;
- **лінійні вимірювальні лінійки** — вимірюють лінійне переміщення;
- **тахогенератори** — формують сигнал, пропорційний швидкості обертання;
- **кінцеві вимикачі** — контролюють граничні положення;
- **датчики наближення** — визначають наявність або положення об'єкта;
- **датчики навантаження** — вимірюють силу, момент або потужність.

У замкнених системах фактичне положення та швидкість осей постійно порівнюються із заданими значеннями. Для цього використовують цифрові датчики, зокрема енкодери, або аналогові пристрої, наприклад резольвери й тахогенератори. [gppanchkula.ac]

5. Програмований логічний контролер

У системі ЧПК окрему роль відіграє **PLC** — програмований логічний контролер. Він керує дискретними та допоміжними функціями верстата.

PLC може забезпечувати:

- запуск і зупинку шпинделя;
- перемикання діапазонів частоти обертання;
- зміну інструмента;
- керування затискачами;
- відкривання та закривання дверей;
- увімкнення охолодження;
- контроль мастила;
- взаємодію з гідравлікою та пневматикою;
- контроль аварійних блокувань.

Пристрій ЧПК переважно відповідає за координатні переміщення та технологічну програму, а PLC — за логічну послідовність допоміжних операцій і безпечне виконання циклу.

6. Взаємодія складових елементів

Робота системи ЧПК відбувається у такій послідовності:

- Оператор вводить або вибирає керуючу програму.
- Пристрій ЧПК зчитує черговий кадр програми.
- Команди декодуються та перевіряються.
- Інтерполятор розраховує проміжні координати траєкторії.
- Контролер формує сигнали для приводів.
- Драйвери підсилюють сигнали та подають їх на двигуни.
- Двигуни переміщують робочі органи або обертають шпиндель.
- Датчики вимірюють фактичні положення та швидкості.
- Інформація зворотного зв'язку надходить до пристрою ЧПК.
- Система за необхідності коригує керуючі сигнали.

Одночасно PLC виконує допоміжні команди: змінює інструмент, вмикає охолодження, керує затисканням заготовки та контролює блокування.

7. Інформаційні та енергетичні потоки

У системі ЧПК потрібно розрізняти інформаційні та силові потоки.

Інформаційний потік

Інформаційний потік містить команди, координати, параметри та сигнали стану:

програма → пристрій ЧПК → драйвери приводів → виконавчі механізми;

датчики → пристрій ЧПК → коригування керування;

оператор ↔ пульт ↔ пристрій ЧПК.

Силовий потік

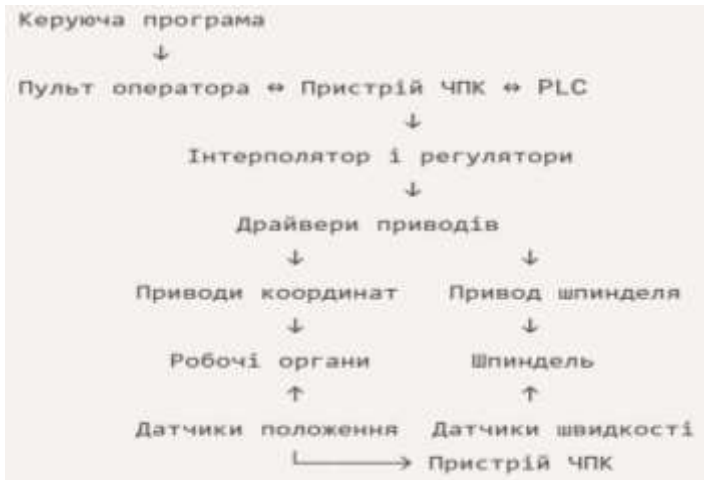
Силовий потік пов'язаний із передаванням електричної та механічної енергії:

мережа живлення → силовий перетворювач → двигун → механічна передача → робочий орган.

Інформаційний сигнал має невелику потужність, але визначає, коли, у якому напрямку та з якою швидкістю повинна передаватися механічна енергія.

8. Узагальнена структурна схема

У навчальному вигляді структурну схему системи ЧПК можна подати так:



Ця схема показує, що система ЧПК не є лише комп'ютером. Вона включає апаратні компоненти, виконавчі механізми, вимірювальні пристрої, програмне забезпечення та інтерфейс оператора.

Висновок

Система ЧПК складається з пристрою керування, приводів, робочих органів, датчиків, PLC та пульта оператора. Пристрій керування обробляє програму й формує команди, приводи виконують переміщення, а датчики передають інформацію про фактичний стан верстата. Надійна взаємодія цих елементів забезпечує точність, продуктивність і безпечну роботу обладнання.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які основні складові входять до структури системи ЧПК?
2. Які функції виконує пристрій керування?
3. Чим відрізняються приводи подачі від привода головного руху?
4. Яке призначення мають датчики зворотного зв'язку?
5. Чим відрізняються інформаційні потоки від силових потоків у системі ЧПК?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Одне правильне питання Який елемент системи ЧПК формує команди для приводів на основі керуючої програми? А. Пристрій керування Б. Механічна передача В. Система охолодження	3. Декілька правильних відповідей Які пристрої можуть використовуватися як датчики зворотного зв'язку? А. Енкодер Б. Лінійна вимірювальна лінійка В. Стружкознімач без вимірювального елемента
2. Одне правильне питання Який привод забезпечує обертання шпинделя? А. Привод головного руху Б. Привод освітлення В. Привод огороження	4. Декілька правильних відповідей Які функції може виконувати PLC верстата? А. Керування зміною інструмента Б. Керування системою охолодження В. Розрахунок усіх проміжних точок кругової інтерполяції

ТЕМА.ПРИСТРІЙ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ ТА ПУЛЬТ ОПЕРАТОРА

Понятійний апарат: пристрій ЧПК, контролер, центральний процесор, пам'ять, модуль введення-виведення, інтерфейс, PLC, пульт оператора, клавіатура, дисплей, індикатор, кнопка аварійної зупинки, перемикач режимів, ручний імпульсний генератор, коректор подачі, коректор обертів шпинделя, керуюча програма, кадр, діагностика, повідомлення про помилку, режим роботи, ручний режим, автоматичний режим, режим редагування, режим налагодження.

1. Призначення пристрою ЧПК

Пристрій числового програмного керування — це апаратно-програмний комплекс, який приймає керуючу програму, обробляє її та формує команди для виконавчих систем верстата.

Його можна розглядати як «інтелектуальний центр» обладнання. Він не виконує механічну обробку безпосередньо, а координує роботу приводів, шпинделя, інструментального магазину, системи охолодження та інших механізмів.

Основні завдання пристрою ЧПК:

- приймання програми;
- перевірка синтаксису;
- зберігання програм;
- обчислення координат;
- інтерполяція;
- керування приводами;
- керування технологічними функціями;
- облік корекцій інструмента;
- контроль стану верстата;
- діагностика;
- зв'язок із зовнішніми системами.

Сучасний CNC-комплекс може містити центральний комп'ютер, пам'ять програм, мережеві інтерфейси та підключення до верстата.[\[gppanchkula.ac\]](http://gppanchkula.ac)

2. Апаратна структура пристрою ЧПК

Типова апаратна структура містить такі компоненти:

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| • центральний процесор; | • PLC; |
| • оперативну пам'ять; | • модулі зв'язку; |
| • постійну або флеш-пам'ять; | • відеоконтролер; |
| • модулі введення та виведення; | • пульт оператора; |
| • інтерфейси приводів; | • блок живлення; |
| • інтерфейси датчиків; | • системи охолодження та діагностики. |

Центральний процесор

Центральний процесор виконує програмні алгоритми системи ЧПК. Він аналізує кадри програми, здійснює обчислення, обробляє сигнали датчиків і формує команди керування.

Пам'ять

Пам'ять використовується для:

- зберігання керуючих програм;
- зберігання системних параметрів;
- запису корекцій інструмента;
- зберігання нульових точок;
- збереження повідомлень і даних діагностики;
- зберігання макропрограм та технологічних циклів.

Модулі введення-виведення

Модулі введення-виведення забезпечують обмін сигналами між пристроєм ЧПК і верстатом.

До вхідних сигналів належать:

- сигнали від датчиків;
- сигнали кінцевих вимикачів;
- сигнали кнопок і перемикачів;
- сигнали аварійних блокувань;
- сигнали стану дверей, затискачів та інструмента.

До вихідних сигналів належать:

- команди приводам;
- команда запуску шпинделя;
- команда зміни інструмента;
- команда ввімкнення охолодження;
- сигнали керування гідравлікою та пневматикою;
- сигнали індикації.

Інтерфейси приводів

Інтерфейси приводів передають команди до сервоприводів координат і шпинделя. Вони також приймають інформацію про стан двигунів, навантаження, швидкість і помилки приводів.

PLC

PLC реалізує логіку допоміжних операцій. У системах ЧПК контролер, інтерфейс оператора, PLC та пристрої зворотного зв'язку працюють як взаємопов'язані частини єдиного комплексу.[\[rskr.irimee\]](http://rskr.irimee)

3. Пульти оператора

Пульт оператора — це інтерфейс, за допомогою якого оператор взаємодіє із системою ЧПК.

Пульт дає змогу:

- вводити та редагувати програми;
- вибирати режими роботи;
- запускати й зупиняти обробку;
- переміщувати робочі органи вручну;
- задавати корекції;
- контролювати координати;
- спостерігати за станом верстата;
- переглядати повідомлення та діагностику;
- виконувати налагодження.

Типова панель містить дисплей, клавіатуру, кнопки керування, перемикачі, індикатори та кнопку аварійної зупинки. Сучасні панелі можуть мати сенсорний екран, USB-порти, мережеві інтерфейси та ручний імпульсний генератор.

4. Клавіатура та органи керування

Алфавітно-цифрова клавіатура

За допомогою клавіатури оператор вводить:

- адреси команд;
- координати;
- швидкість подачі;
- частоту обертання шпинделя;
- номери інструментів;
- корекції;
- параметри циклів;
- текстові коментарі.

До основних адрес керуючої програми належать:

- G — підготовчі функції;
- M — допоміжні функції;
- X, Y, Z — координати;
- F — подача;
- S — частота обертання шпинделя;
- T — номер інструмента;
- H і D — корекції інструмента залежно від системи керування.

Функціональні клавіші

Функціональні клавіші забезпечують перехід до окремих сторінок і розділів:

- програма;
- положення;
- корекції;
- параметри;
- налаштування;
- діагностика;
- повідомлення;
- графічна перевірка.

Кнопки керування верстатом

До основних кнопок належать:

- запуск циклу;
- подача на утримання;
- скидання;
- запуск і зупинка шпинделя;
- увімкнення охолодження;
- ручне переміщення;
- повернення у вихідну позицію;
- відкривання або закривання затискача.
- Кнопка аварійної зупинки

Кнопка аварійної зупинки призначена для швидкого припинення небезпечного руху або роботи обладнання. Після її натискання повторний запуск дозволяється лише після з'ясування причини небезпечної ситуації та виконання відповідної процедури відновлення.

Кнопка аварійної зупинки не замінює правильного налаштування верстата, захисних огорожень і дотримання технологічної дисципліни.

5. Дисплей оператора

Дисплей відображає інформацію про програму, координати, режими, повідомлення та стан обладнання.

На дисплеї можуть відображатися:

- активний кадр програми;
- номер поточного кадру;
- фактичні координати осей;
- задані координати;
- відстань до кінцевої точки;
- швидкість подачі;
- частота обертання шпинделя;
- номер інструмента;
- активні корекції;
- стан охолодження;
- повідомлення про помилки;
- графічна траєкторія руху;
- навантаження на приводи.

Дисплей забезпечує оператору зворотний зв'язок із системою. За його показаннями можна визначити, чи правильно вибрано програму, чи досягнуто заданої координати та чи немає аварійних повідомлень.

6. Індикатори та сигнальні елементи

Індикатори показують стан окремих функцій верстата. Вони можуть сигналізувати про:

- увімкнення системи;
- виконання автоматичного циклу;
- готовність до роботи;
- роботу шпинделя;
- увімкнення охолодження;
- активність подачі;
- аварійний стан;
- зупинку через повідомлення або блокування.

Кольори та позначення індикаторів залежать від виробника, тому перед роботою необхідно користуватися експлуатаційною документацією конкретної системи ЧПК.

7. Основні режими роботи

Ручний режим

У ручному режимі оператор керує переміщеннями робочих органів за допомогою кнопок, перемикачів або ручного імпульсного генератора.

Режим використовують для:

- підведення інструмента;
- встановлення заготовки;
- перевірки рухів;
- пошуку базової точки;
- налагодження верстата.

Режим ручного введення даних

У режимі MDI оператор вводить окремий кадр або коротку послідовність команд і запускає її без створення повної програми.

MDI використовують для:

- перевірки окремого переміщення;
- запуску шпинделя;
- перевірки допоміжної функції;
- встановлення координат;
- виконання короткої технологічної дії.

Режим редагування

У режимі редагування оператор:

- створює програму;
- змінює окремі кадри;
- видаляє або вставляє команди;
- копіює фрагменти;
- записує програму на зовнішній носій;
- виконує пошук помилок у тексті.

Автоматичний режим

В автоматичному режимі система послідовно виконує керуючу програму. Оператор контролює процес, але не задає кожне переміщення окремо.

Перед запуском необхідно перевірити:

- правильність програми;
- систему координат;
- установлення заготовки;
- номер і корекцію інструмента;
- безпечну висоту;
- подачу та частоту обертання;
- відсутність перешкод;
- готовність системи охолодження.

Покадровий режим

У покадровому режимі кожен кадр виконується окремо після натискання кнопки запуску. Він використовується під час налагодження та першої перевірки нової програми.

Режим повернення у вихідну позицію

Цей режим забезпечує переміщення осей у машинну або референтну точку. Він необхідний після ввімкнення верстата або втрати координатної прив'язки.

8. Взаємодія оператора із системою ЧПК

Оператор взаємодіє із системою у такій послідовності:

- Увімкнути систему та перевірити відсутність аварійних повідомлень.
- Виконати повернення осей у вихідну позицію.
- Вибрати або завантажити керуючу програму.
- Перевірити номер програми та її зміст.
- Установити інструмент і внести його корекції.
- Визначити нульову точку деталі.
- Вибрати режим пробного або покадрового виконання.
- Перевірити траєкторію без різання.
- Запустити автоматичний цикл.
- Контролювати координати, навантаження, звук і повідомлення системи.
- Після завершення обробки перевірити деталь.
- За потреби внести технологічні корекції.

Важливо, щоб оператор розумів різницю між редагуванням програми, зміною корекції інструмента та зміною нульової точки. Помилкова зміна будь-якого з цих параметрів може призвести до неправильного положення інструмента.

9. Діагностична інформація

Система ЧПК може повідомляти про:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| • синтаксичні помилки програми; | • недостатній тиск мастила; |
| • вихід за межі переміщення; | • несправність системи охолодження; |
| • неправильний номер інструмента; | • відкриті двері або спрацювання блокування; |
| • перевантаження привода; | • втрату зв'язку з приводом. |
| • втрату сигналу датчика; | |

Оператор повинен не лише прочитати номер помилки, а й визначити її причину за інструкцією з експлуатації. Скидання повідомлення без усунення причини може бути небезпечним.

Висновок. Пристрій ЧПК є центральним апаратно-програмним елементом системи керування верстатом. Він містить процесор, пам'ять, модулі введення-виведення, інтерфейси приводів, PLC, засоби діагностики та пульт оператора. Пульт забезпечує введення програм, вибір режимів, ручне керування, контроль координат і взаємодію з діагностичною системою. Правильне використання панелі оператора є необхідною умовою точного, безпечного та продуктивного виконання обробки.

Питання для самоперевірки

Яке призначення має пристрій числового програмного керування?

Які основні компоненти входять до апаратної структури пристрою ЧПК?

Які функції виконує пульт оператора?

Для чого використовують ручний, MDI, покадровий та автоматичний режими?

Які дії повинен виконати оператор перед запуском автоматичного циклу?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Одне правильне питання Який елемент пульта оператора призначений для відображення координат, програм і повідомлень? А. Дисплей Б. Ручний затискач В. Механічна передача	3. Декілька правильних відповідей Які функції виконує пульт оператора? А. Введення та редагування керуючої програми Б. Вибір режиму роботи верстата В. Механічне заточування інструмента
2. Одне правильне питання У якому режимі система автоматично послідовно виконує всю керуючу програму? А. Автоматичному Б. Ручному В. Режимі редагування	4. Декілька правильних відповідей Що необхідно перевірити перед запуском автоматичного циклу? А. Правильність вибраної програми Б. Номер і корекцію інструмента В. Колір корпусу верстата

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ

1. Ознайомитися з панеллю оператора навчального верстата.
2. Визначити призначення дисплея, клавіатури, функціональних клавіш, кнопки аварійної зупинки та перемикачів режимів.
3. Увімкнути ручний режим і визначити спосіб переміщення кожної координатної осі.
4. Відкрити екран координат і знайти машинні та робочі координати.
5. Перейти до режиму редагування й визначити структуру керуючої програми.
6. Виконати один тестовий кадр у режимі MDI.
7. Запустити коротку програму в покадровому режимі.
8. Зафіксувати наявні індикатори, повідомлення та параметри стану верстата.