

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій
(повне найменування факультету)

Кафедра інформаційної безпеки та наноелектроніки
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Модернізація верстатів з числовим програмним керуванням для
підвищення якості обробки
(назва теми)

Виконала: студентка 2 курсу, групи
БК-412м

Спеціальності 152 Метрологія та
інформаційно - вимірювальна техніка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Якість, стандартизація та сертифікація

АБАКУМОВА О.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ПОГОСОВ В.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ЗАГАЄВСЬКА В.І.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

6.Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завданнявидав	прийняв виконане завдання
1-3	ПОГОСОВ В.В., професор каф. ІБ та Н	30.09.23	
Нормоконтроль	КОРОЛЬКОВ Р. Ю., доцент каф. ІБ та Н		

7.Дата видачі завдання « 04 » вересня 2023 року.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапівпроекту (роботи)	Примітка
1	Підбор і аналіз літератури.	04.09.23 – 10.10.23	Виконано
2	Розробка теоретичних питань теми. Опрацювання і укомплектування вибраної теорії.	11.10. 23 – 16.10.23	Виконано
3	Проведення досліджень. Визначення ключових і критичних характеристик згідно стандартам.	17.10.23 – 21.10.23	Виконано
4	Узагальнення і доповнення результатів.	22.10.23 – 26.10.23	Виконано
5	Утвердження остаточного варіанту.	27.10.23 – 11.11.23	Виконано
6	Оформлення звіту. Розрахунки економічної ефективності.	12.11.23 – 18.11.23	Виконано
7	Висновки. Оформлення пояснювальної записки.	19.11.23 – 24.11.23	Виконано

Студентка

Оксана АБАКУМОВА
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)
ПОГОСОВ

Валентин

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 79 с., 17 рис., 22 джерел.

ВИСОКОШВИДКІСНЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ, ПОМИЛКА ЗА ПОЛОЖЕННЯМ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, СИСТЕМА ЧПК, ТОЧНІСТЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ, ЧИСЛОВЕ ПРОГРАМНЕ КЕРУВАННЯ

Актуальність теми. Підвищення ефективності механічної обробки, одержання заданої точності обробки і високої надійності верстатів із ЧПК.

Об'єкт дослідження - процеси у верстатах з ЧПК.

Предмет дослідження – програмно-апаратне забезпечення верстатів з ЧПК.

Мета роботи - модернізація систем керування верстатів з ЧПК для підвищення якості обробки, виявлення найбільш оптимального середовища для розробки керуючих програм деталей машинобудування.

Задачі дослідження: аналіз найбільш поширених пакетів для створення керуючих програм (ADEM, Sprut CAM).

Наукова новизна одержаних результатів. Визначено перспективність застосування ПАК при проведенні досліджень і розробки методик і алгоритмів обліку енергоспоживання і вібрацій в процесі обробки.

Практичне значення одержаних результатів. ПАК, інтегрований з СЧПК на базі ПК дозволяє проводити реєстрацію даних про процес механічної обробки, процесах в системах технологічного обладнання та внутрішніх змінних СЧПК з частотою керуючого циклу.

Апробація результатів: застосування комплексу при розробці алгоритму керування обладнанням при покроковому переміщенні від пульта оператора, алгоритму прогнозування подачі, оптимізації програмно-реалізованого регулятор.

ABSTRACT

Explanatory note to the master's thesis: 79 p., 17 figures, 22 sources.

CNC SYSTEM, HIGH SPEED MILLING, NUMERICAL CONTROL,
POSITION ERROR, POSITIONING ACCURACY, SOFTWARE

Actuality of theme. Increasing the efficiency of mechanical processing, obtaining the specified processing accuracy and high reliability of CNC machines.

Object of research - processes in CNC machines.

The subject of research - hardware and software support of CNC machines.

The purpose of the work - modernization of the control systems of CNC machines to improve the quality of processing, to identify the most optimal environment for the development of control programs for mechanical engineering parts.

Research tasks: analysis of the most common packages for creating control programs (ADEM, Sprut CAM).

Scientific novelty of the obtained results. The prospects for the use of PAK during research and development of methods and algorithms for accounting for energy consumption and vibrations in the processing process have been determined.

Practical significance of the obtained results. PAK, integrated with PC-based control system allows to record data about the process of mechanical processing, processes in technological equipment systems and internal variables of control cycle with the frequency of the control cycle.

Approbation of the results: application of the complex in the development of an algorithm for controlling equipment during step-by-step movement from the operator's console, an algorithm for forecasting feed, optimizing a software-implemented regulator.

ЗМІСТ

	С.
Перелік скорочень.....	7
Вступ	8
1 Верстати з ЧПК	10
1.1 Історія автоматизації	10
1.2 Переваги верстатів з ЧПК.....	11
1.3 Типи верстатів з ЧПК	13
1.4 Характеристики систем ЧПК.....	17
1.5 Технологічна надійність верстата	21
1.6 Точність обробки на верстатах з ЧПК.....	32
1.7 Втрата працездатності верстатом з ЧПК по точності	36
1.8 Іспит верстатів з ЧПК на технологічну надійність	40
2 Модернізація верстатів з числовим програмним керуванням для підвищення якості обробки.....	56
2.1 Дослідження програмних продуктів, які застосовуються для створення управляючих програм у станках з ЧПК.....	56
2.2 Обробка авіаційних деталей на верстатах з ЧПК	59
3 Набір технічних і програмних засобів для дослідження алгоритмів і процесів у верстатах з ЧПК.....	65
3.1 Програмно-апаратний комплекс	65
3.2 Апаратна частина комплексу	68
3.3 Програмна частина комплексу	69
3.4 Аналіз алгоритмів і процесів	72
Висновки.....	76
Перелік джерел посилань	78

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АЦП – аналогово- цифровий перетворювач;
ВП – вимірювальний перетворювач;
ВР – верхній рівень;
ГП – гідро підсилювач;
ДЗЗ – датчик зворотного зв'язку;
КД – кроковий двигун;
НР – нижній рівень;
ПАК – програмно-апаратний комплекс;
ПЗ – програмне забезпечення;
ППР – планово-попереджувальний ремонт;
САПР – система автоматизованої підготовки керуючих програм;
СЧПК – система ЧПК;
ЧПК – числове програмне керування.

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку машинобудування для виготовлення складних деталей використовується багатофункціональне обладнання у вигляді верстатів з числовим програмним керуванням - ЧПК.

Вони мають досить великі можливості для обробки складних по конструкції деталей з багатьма ріжучими інструментами в автоматичному режимі. Завдяки високій концентрації основних операцій значно поліпшуються економічні показники виробництва та якість обробки.

Сучасне машинобудування характеризується зростаючими вимогами до якості і продуктивності машин, підвищення їх технічного рівня та надійності. Розробка і впровадження систем ЧПК справили великий вплив на компоновку і конструкцію існуючих верстатів, що оснащуються цими системами управління.

Верстати з ЧПК є прообразом технологічних систем майбутнього, коли для керування й обробки інформації використовуються найширші можливості ЕОМ, а для здійснення технологічного процесу – досягнення верстатобудування і механічної обробки й у результаті створюється мобільне, високопродуктивне, прецизійне технологічне устаткування.

Дуже швидко відбувається підвищення якості верстатів із ЧПК, що мають різноманітні компонування і покращені конструкції. Верстати оснащуються новими пристроями ЧПК, побудованими на мікроелектронних елементах. Набирає обертів керування верстатами безпосередньо від ЕОМ.

Однією з головних цілей у цих верстатах є одержання заданої точності обробки і високої надійності. При цьому особливо важливо не тільки одержання високих початкових характеристик верстатів, але і збереження їх у процесі тривалої експлуатації. У цьому зв'язку важливим питанням є забезпечення технологічної надійності верстатів у ЧПК, під якою розуміється їхня властивість виконувати обумовлені призначенням технологічні процеси,

зберігаючи показники якості обробки в заданих межах протягом необхідного проміжку часу при заданій продуктивності.

Задача забезпечення необхідного рівня технологічної надійності верстата, особливо оснащеного системою ЧПК, є складною, бо необхідно знати, як будуть змінюватися характеристики верстата в процесі його експлуатації, який запас надійності в новому верстаті по його основних вихідних параметрах. Ще суточніше відповісти на ці питання при проектуванні верстата, коли всі його основні характеристики повинні бути заздалегідь розраховані або встановлені, а їхня зміна в процесі експлуатації – прогнозовані.

Ця задача вирішується врахуванням як функціональних зв'язків, так і картини явищ, яка більш вірогідна.

Широкі функціональні можливості систем ЧПК потребують нового підходу до розробки нових або модернізації існуючих компоновок верстатів. Паралельно з цим проводиться розробка і застосування нових вимірювальних систем, нових конструкцій комплектуючих елементів верстата (підшипників, напрямних, механізмів автоматичної зміни інструментів і заготовок та ін.), нових матеріалів для виготовлення деталей верстата. Все це дозволяє значно підвищити якість роботи верстатів з ЧПК, їх точність і надійність.

1 ВЕРСТАТИ З ЧПК

1.1 Історія автоматизації

Основи машинобудування були закладені в Великобританії ще в 18 столітті. Далі естафету підхопили конструктори інших європейських країн – Німеччини, Франції. Верстати удосконалювалися, підганялися під потреби залізничного будівництва і пароплавства. У другій половині 19 століття швидкими темпами стало розвиватися верстатобудування і в Америці.

У 40-х роках 20 століття американський професор Д. Парсонс створив прототип фрезерного верстата з програмним управлінням. Програма, записана на перфорованих картах, передавала команди приводам подач фрезера. Перший блок управління займав величезну площу. Далі зусилля вчених були спрямовані на вдосконалення апаратної частини. Першими систему CNC стали використовувати військові, а з другої половини 20 століття почалася масова експлуатація верстатів з ЧПУ.

Застосовувані в важкої промисловості ЧПУ верстати полегшують виконання складних обробних операцій і зменшують витрати часу на міжопераційний дії (переналагодження, зміна інструменту). На відміну від універсальних верстатів всі параметри обробки налаштовуються за допомогою комп'ютера. Автоматика контролює здійснення технологічних операцій, зменшуючи вплив на результат людського фактора. Завдяки програмному забезпеченню можна більш повно використовувати можливості верстата, що дозволяє збільшити ефективність виробництва.

Обладнання з ЧПУ допускає виготовлення широкої номенклатури деталей різного рівня складності і конфігурації. Автоматизовані верстати дають можливість виготовлення складних і навіть унікальних виробів в стислі терміни. Один ЧПУ верстат може виконувати роботу декількох універсальних. Якщо ж кілька верстатів об'єднати в єдину мережу, керовану однією системою

ЧПУ, то можна забезпечити комплексну обробку однотипних деталей. А стежити за виконанням програми може один оператор.

ЧПУ верстати і технологічні комплекси на їх основі застосовуються на підприємствах унікального машинобудування, які виконують замовлення для космічної, атомної, енергетичної промисловості. Складність конструкції, вагові характеристики, вимоги до якості та геометричної точності не є перешкодою для сучасного обладнання [1].

На машинобудівних та металообробних підприємствах широко використовуються сучасні обробні центри з комп'ютерним управлінням. Один такий багатофункціональний агрегат здатний замінити виробничу лінію з обладнанням різного виду. Зі зменшенням кількості верстатів на ділянці механічної обробки знижуються витрати на електрику і обслуговування, а також кількість персоналу. Виготовлення деталей здійснюється в єдиному циклі. Керований комп'ютером верстат виконує безліч різнопланових операцій і дозволяє отримувати стабільно високі якісні характеристики – точність форми і взаємного розташування поверхонь. Це якість є особливо важливим у виробництві штампів та прес-форм, які в подальшому використовуються для виготовлення специфічних і складних деталей. Портальні верстати уможливають обробку масивних і габаритних деталей. Оснащення верстатів з числовим програмним управлінням системою автоматичної зміни інструменту скорочують час простою і таким чином збільшують продуктивність.

1.2 Переваги верстатів з ЧПК

ЧПК обладнання поєднує гнучкість, якої характерну для універсальних верстатів, і високу продуктивність. Сучасні методи обробки і високошвидкісний інструмент з поліпшеними ріжучими властивостями дають можливість

збільшувати швидкість різання при збереженні високих показників якості та точності.

Переваги використання високотехнологічних ЧПУ верстатів:

- широкий спектр виконуваних завдань розширення функціональних можливостей;
- мінімальний вплив оператора на процес обробки;
- зменшення часу на виконання допоміжних операцій, зміни інструменту, переналадок обладнання;
- підвищення продуктивності;
- скорочення тривалості обробки партії деталей;
- здешевлення процесу виробництва

Сучасне машинобудування характеризується зростаючими вимогами до якості і продуктивності машин, підвищення їх технічного рівня та надійності. Розв'язання цих проблем в значній мірі пов'язано із створенням металорізальних верстатів та оснащення раціональної структури із оптимальними параметрами при одночасному забезпеченні підвищення продуктивності і точності обробки [2].

Нові широкі функціональні можливості систем ЧПК, їх особливості в порівнянні з раніше застосовуваними ПУ зажадали нового підходу до розробки нових або модернізації існуючих компоновок верстатів, конструкції їх вузлів і механізмів.

На основі узагальнення досвіду експлуатації верстатів з ЧПК встановлено, що якщо при їх впровадженні штучний час обробки скорочується на 50 %, в порівнянні з обробкою на верстатах з ручним управлінням, то, не дивлячись на додаткові витрати, забезпечується загальне скорочення витрат. Найбільший економічний ефект забезпечує обробка заготовок деталей на верстатах з ЧПК, виготовлення яких на верстатах з ручним управлінням зв'язане з використанням дорогого технологічного оснащення (кондукторів, копіїв, фасонних ріжучих інструментів і т. д.), великими витратами часу на наладку технологічної системи, в порівнянні з оперативним часом.

1.3 Типи верстатів із ЧПК

Числове програмне керування у металорізальних верстатів це робота за програмою, яка задана в алфавітно-цифровому коді і, яка уявляє собою послідовність команд, яка забезпечує задане функціонування робочих органів верстата. Принципова відмінність верстатів із ЧПК від верстатів із звичайними системами автоматичного керування (САК) полягає в способі розрахунку і завдання програми керування і її передач для управління робочими органами верстата.

Підготовка програм керування для верстатів із ЧПК аж до її передачі робочим органам верстата має на увазі роботу з інформацією в цифровій (дискретній) формі, яка отримана безпосередньо з креслення деталі. Траєкторія руху інструмента, що ріже, щодо оброблюваної заготовки у верстатах із ЧПК представляється у як ряд його послідовних положень, кожне з яких визначається числом. На верстатах із ЧПК можливо одержувати складні рухи робочих органів не за допомогою кінематичних зв'язків, а завдяки керуванню незалежними координатними переміщеннями цих робочих органів по програмі, яка задана в числовому вигляді. Якісно новою у верстатах із ЧПК є можливість збільшення числа одночасно керованих координат, що дозволило створити принципово нові компонування верстатів з одержанням широких технологічних можливостей при автоматичному керуванні [3-5].

Кодовану програму керування, представлену в текстовій або табличній формі за допомогою символів (цифр, букв, умовних знаків) вводять в пам'ять пристроїв ЧПК безпосередньо з пульта керування. Програма керування може бути розрахована з будь-якою заданою точністю і на будь-який необхідний закон руху робочих органів верстата [6-7].

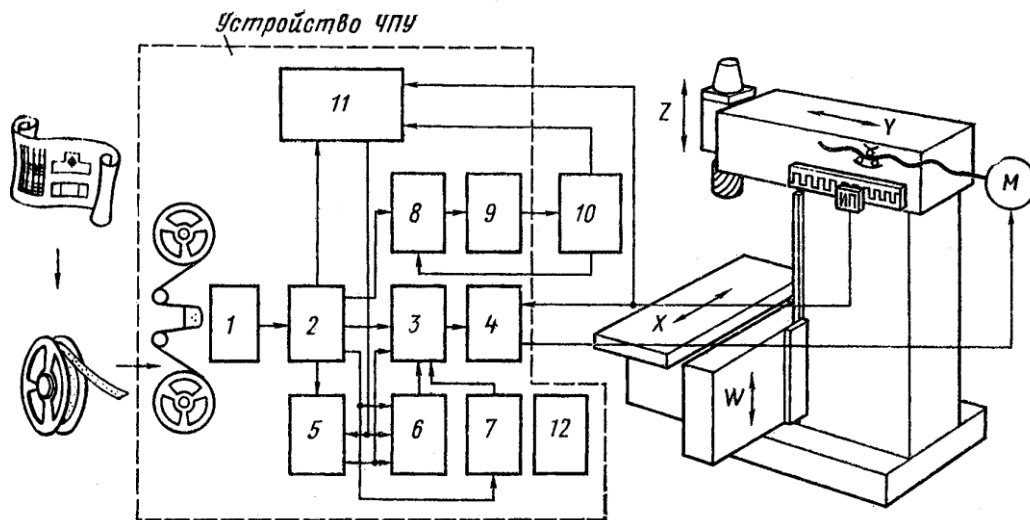
Однозначний і абстрактний характер інформації, переданої на всьому шляху від креслення до робочих органів верстата, дозволив застосувати для

верстатів із ЧПК математичні методи підготовки програми керування, автоматизувати процес її розрахунку і складання на основі застосування ЕОМ і при необхідності робити це централізовано.

Завдяки електронно-обчислювальній машині (ЕОМ) обирається оптимальний процес обробки (послідовність переходів, режими різання й ін.). Знижується трудомісткість і прискорюється процес підготовки програм керування і підготовки виробництва в цілому. Економічний ефект від застосування верстатів із ЧПК виходить як за рахунок зниження часу обробки, так і за рахунок інтенсифікації всього технологічного процесу в результаті посилення інформаційних зв'язків між окремими виробничими підрозділами і прискорення обробки потоків інформації. Скорочується потреба у висококваліфікованих верстатниках, є можливість застосовувати багатOVERSTATNE обслуговування.

Для одержання зазначеної ефективності верстатів ЧПК потрібні попередні техніко-економічні розрахунки, що визначають доцільність упровадження того або іншого типорозміру верстата із ЧПК, і організаційні міри, що забезпечують повне завантаження верстата з максимальним використанням його можливостей. Необхідно також враховувати велику складність і високу вартість верстатів із ЧПК, підвищення вимог до кваліфікації наладчиків і особливо обслуговуючі пристрої ЧПК, поки ще значні витрати часу на підготовку програм керування.

Хоча кінематика верстатів із ЧПК в порівнянні зі звичайними універсальними верстатами значно простіше, вимога до точності їхнього виготовлення і наступної роботи більш високі. Найважливішими є не тільки забезпечення високої початкової точності верстата із ЧПК, але і збереження її протягом заданого періоду експлуатації, що характеризує їхню технологічну надійність.



- 1 – блок введення і зчитування; 2 – блок пам'яті; 3,4 – блоки інтерполяції;
 5,6 – блоки швидкості подачі; 7,8 – блоки технологічних команд;
 9 – блок узгодження; 10 – блок автоматики.

Рисунок 1.1 – Структурна схема верстата з ЧПК [8]

Верстат і пристрій ЧПК утворюють єдиний технологічний комплекс, надійність і якість роботи якого в однаковій мірі залежать від надійності і якості як самого верстата, так і пристрою ЧПК.

Структурна схема верстата з ЧПК зображена на рис. 1.1. Верстат із ЧПК складається з власне верстата і системи ЧПК, основними елементами якої є: пристрій ЧПК; рушії подач робочих органів верстата і вимірювальні перетворювачі (ВП), які встановлені по кожній керованій координаті. Пристрій ЧПК призначений для видачі керуючих впливів робочим органам верстата відповідно до програми керування. Він складається з комплексу електронних блоків для зчитування, запам'ятовування і перетворення інформації, що вводиться в пристрій на перфострічці або вручну з пульта керування, її розрахунку, корекції і передачі на рушійні двигуни робочих органів верстата і

циклову автоматику верстата, діагностики несправностей і ін. Рушій подачі робочих органів складається з рушійного двигуна, системи його керування і кінематичних ланок.

Від правильного і надійного функціонування великого числа механічних, гідравлічних, пневматичних, електричних і електронних механізмів і елементів залежить значною мірою точність виконання заданої програми керування обробки деталей.

Існує три види систем ЧПК: позиційні, контурні і комбіновані. У зв'язку з розширенням технологічних можливостей і ступеня автоматизації верстатів із ЧПК найбільше застосування знаходять комбіновані системи ЧПК. Сучасні системи ЧПК будують з використанням мікропроцесорів, або міні-ЕОМ, що значно підвищує продуктивність і надійність верстата з ЧПК. Збільшується обсяг пам'яті, забезпечуються можливість збереження в блоках пам'яті декількох програм, використання кожної з них у міру необхідності, оперативне програмування з ручним введенням програми і можливістю її редагування в процесі обробки, зменшення обсягу програм за рахунок наявності автоматичних підпрограм і ін. Застосування таких систем ЧПК дозволяє компенсувати систематичні похибки верстата і технологічні параметри обробки, що змінюються, проводити діагностику несправностей верстата і пристрою ЧПК.

В промисловості застосовується широка гама верстатів із ЧПК різного технологічного призначення: свердлильно-розточувальних, токарських, фрезерних, шліфувальних і ін. З'явився новий тип верстатів із ЧПК, що одержали назву багатоопераційних (обробних центрів), що мають широкі технологічні можливості і високий ступінь автоматизації.

Свердлильні і розточувальні верстати із ЧПК керують точними настановними переміщеннями робочого органа (позиціонування) на холостому ході. Обробка, а отже, і силовий вплив на деталі і механізми верстата виробляється тільки після установки і затиску рухливого робочого органа. Тому

в даному випадку важливим є точне позиціонування при мінімальному часі холостого ходу.

Токарські верстати із ЧПК випускаються в наступних виконаннях: центрові, патронно-центрові і лобові. Найбільше застосування одержали патронно-центрові верстати із ЧПК. На токарських верстатах із ЧПК, оснащених контурними системами ЧПК, обробляються різноманітні деталі зі складним профілем.

Фрезерні верстати з ЧПК застосовують для обробки деталей, зі складним плоским або об'ємним криволінійним профілем при керуванні одночасним переміщенням робочого органа по трьох і більш координатах контурними системами ЧПК. На фрезерних верстатах із ЧПК можна робити фрезерування торцевими і кінцевими фрезами, а також центрування, свердління, зенкування, розгортання і в окремих випадках розточування отворів. Фрезерні верстати можуть мати ручну й автоматичну зміну інструмента, що ріже. В останньому випадку інструменти встановлюють на револьверній голівці (ФП-17СМН і ін.) або в магазині (6560МФЗ і ін.).

Багатоопераційні верстати оснащуються комбінованими системами ЧПК, що дозволяють працювати в режимі позиціонування, а також контурної обробки деталі. Керування проводиться найчастіше по чотирьох координатах. .

1.4 Характеристики систем ЧПК

Система числового програмного керування є складовою частиною верстата із ЧПК є, від якої у великому ступені залежать його технологічні можливості, а також точність і надійність роботи. Система ЧПК (див. рис. 1.1) у залежності від структурної побудови і функціональних можливостей визначає структуру, спосіб підготовки і завдання програми керування, а також обслуговування верстата з ЧПК в процесі його експлуатації [9].

Програма керування, записана на перфострічці, зчитується послідовно в межах одного кадру в блоці введення і зчитування 1 із запам'ятовуванням у блоці пам'яті 2, відкіля вона подається в блоки технологічних команд 8, інтерполяції 3 і швидкостей подач 6. Блок технологічних команд 8 через блок узгодження 9 керує цикловою автоматикою 10 верстата, що складає в основному з виконавчих елементів типу пускачів, електромагнітних муфт, соленоїдів, кінцевих і шляхових вимикачів, реле тиску і т.д., що забезпечують виконання різних технологічних команд (зміна інструмента, переключення частот обертання шпинделя й ін.), а також різних блокувань при роботі верстата.

Блок інтерполяції 3 уявляє собою спеціалізований обчислювальний пристрій (інтерполятор), формує часткову траєкторію руху інструмента між двома або більш заданими в програмі керування точками. Вихідна інформація з цього блоку, що надходить на блок керування приводами подач 4, звичайно представлена у виді послідовності імпульсів по кожній координаті, частота яких визначає швидкість подачі, а загальне число – величину переміщення. Задана швидкість подачі уздовж оброблюваного контуру деталі, а також процеси розгону і гальмування забезпечуються блоком швидкостей подач 6.

Блок корекції програми 5 служить для зміни запрограмованих параметрів обробки: швидкості подачі і розмірів інструмента (довжини і діаметра). Введення корекцій здійснюється з пульта керування й індикації 11, що служить для зв'язку оператора із системою ЧПК. Блок стандартних циклів 7 дозволяє спростити процес програмування і скоротити довжину перфострічки при обробці повторюваних елементів деталі, наприклад при свердлінні і розточуванні отворів, нарізуванні різьблення й ін. Блок живлення 12 забезпечує живленням постійними напругами і струмами всіх блоків пристрою ЧПК.

Верстати із ЧПК, як відзначалося вище, в залежності від технологічних задач керування обробкою можуть оснащуватися позиційною, контурною або комбінованою системою ЧПК.

Позиційні системи ЧПК забезпечують керування переміщеннями робочих органів верстата відповідно до команд, що визначають позиції, задані програмою керування. При цьому переміщення уздовж різних осей координат можуть виконуватися одночасно (при заданій постійній швидкості) або послідовно.

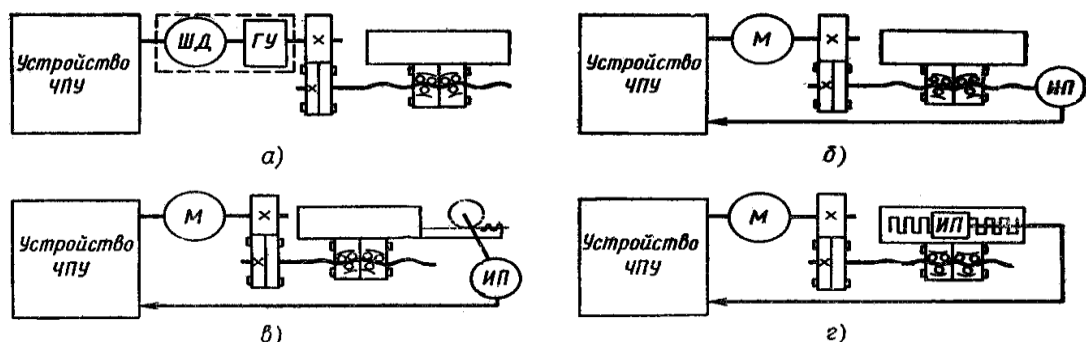
Контурні системи ЧПК забезпечують керування переміщеннями робочих органів верстата по траєкторії і з контурною швидкістю, заданими програмою керування. Контурною швидкістю є результуюча швидкість подачі робочого органа верстата, напрямком якої збігається з напрямком дотичної в кожній точці заданого контуру обробки.

Комбіновані системи ЧПК, що сполучають функції позиційних і контурних систем ЧПК, є більш складними, по і більш універсальними.

Оснащення верстата з ЧПК може бути системами ЧПК розімкненого і замкнутого типу. Системи замкнутого типу можна розділити на три підгрупи:

- зі зворотним зв'язком по положенню робочих органів верстата;
- зі зворотним зв'язком по положенню робочих органів і з компенсацією погіршень верстата;
- які самопристосовуються (адаптивні).

Розімкнені системи ЧПК будують на основі застосування силових або несилових крокових двигунів (КД). В останньому випадку КД використовують у комплекті з гідروпідсилювачем (ГП) (рис. 1.2, а).



а – розімкненого типу; б – замкненого з круговим ВП на ходовому гвинті;
в – із круговим ВП з рейковою передачею; г – з лінійним ВП.

Рисунок 1.2 - Схеми керування рушієм подачі верстата із ЧПК [10]

Системами ЧПК розімкнутого типу оснащена значна частина експлуатованих у промисловості вітчизняних верстатів із ЧПК (наприклад, 16ДО20ФЗ, 6Р13ФЗ, РТ-725ФЗ, 6Р11ФЗ, 1Б732ФЗ і ін.). В основі роботи замкнутих систем ЧПК лежить принцип слідкуючи систем керування.

На рисунку 1.2 зображені три типи замкнутих системи ЧПК першої підгрупи зі зворотним зв'язком по положенню робочого органа верстата. У системах ЧПК першого типу (див. рис. 1.2, б) виробляється непрямий вимір положення робочого органа за допомогою кругового ВП (датчика зворотного зв'язку), який встановлений на ходовому гвинті. Дана схема досить проста і зручна з погляду установки ВП. При застосуванні кругових ВП, які встановлені на ходовому гвинті, високі вимоги пред'являються до точних характеристик передачі „гвинт–гайка” (точність виготовлення, відсутність зазорів).

Широке застосовувати замкнутих систем ЧПК першого типу (див. рис. 1.2, б) у багатьох верстатах із ЧПК для одержання високої точності переміщення робочих органів можливе при наявності в приводах подач верстатів із ЧПК точно виготовлених кулькових гвинтових пар і створення в них попереднього натягу для усунення зазорів і збільшення твердості.

У системах ЧПК другого типу застосовується також круговий МП, але, що вимірює через рейкову передачу безпосереднє переміщення робочого органа верстата (див. рис. 1.2, в). Хоча система зворотного зв'язку охоплює всі передавальні механізми рушія подачі, включаючи і передачу „гвинт–гайка”, у вимірі вноситься похибка рейкової передачі. Тому необхідно використовувати прецизійну рейкову передачу з рейкою, довжина якої буде залежати від величини ходу робочого органа верстата. Це ускладнює і здорожує систему зворотного зв'язку.

Третій тип системи ЧПК з лінійним ВП (див. рис. 1.2, г), що забезпечує безпосередній вимір переміщення робочого органа верстата. Це дозволяє охопити зворотним зв'язком її передавальні механізми рушія подачі, що забезпечує високу точність переміщень. Однак лінійний ВП складніше і дорожче, ніж круговий ВП. Його габарити залежать від довжини ходу робочого органа верстата. Замкнуті системи ЧПК другої підгрупи для підвищення точності обробки мають додаткові системи зворотного зв'язку, що компенсують похибки верстата. Замкнуті системи ЧПК третьої підгрупи одержали назву адаптивних систем керування. Завдяки наявності зворотних зв'язків не тільки по розташуванню робочих органів, але і по параметрах процесу обробки (пружні деформації, знос інструмента, температура в зоні різання, вібрацій) вони забезпечують автоматичне пристосування режиму роботи верстата до умов обробки, що змінюються, для одержання заданої точності обробки, максимально можливої продуктивності або мінімальної собівартості обробки.

Незважаючи на відносно малий термін застосування систем ЧПК, вони у своєму розвитку вже пройшли кілька етапів, обумовлених рівнем розвитку електронної техніки, що представляє розроблювачам пристроїв ЧПК (УЧПК) цих систем визначену елементну базу: релейно-контакту і транзисторну бази, мікросхеми малого і середнього ступеня інтеграції, міні-ЕОМ і, нарешті, мікропроцесорні набори і великі інтегральні схеми пам'яті [6].

1.5 Технологічна надійність верстата

Ефективне використання верстатів із ЧПК в різних галузях промисловості ускладнюється особливостями експлуатації: взаємодія різних механічних, гідравлічних, електричних і електронних механізмів і блоків при високих вимогах до їх точності, надійності і продуктивності; розмаїтість режимів роботи верстатів із ЧПК в зв'язку з частою зміною оброблюваних

деталей великої номенклатури; виконання складних циклів обробки при керуванні верстатами одночасно по трьох і більш координатах; обробка кожної деталі різноманітними різальними інструментами; застосування в деяких верстатах пристроїв компенсації впливу погрешностей технологічної системи на точність обробки й ін.

Під технологічною надійністю верстата із ЧПК мають на увазі властивість верстата забезпечувати протягом необхідного проміжку часу виконання обумовлених його призначенням технологічних операцій при виготовленні деталей з показниками якості і ритмом випуску, установленими нормативно-технічною документацією.

Точність розмірів, форми і відносне розташування оброблюваних поверхонь, а в ряді випадків і фізико-механічні характеристики поверхневого шару є показниками якості обробки, що характеризують верстат із ЧПК як технологічну систему

Технологічною відмовою (відмовою по точності обробки) вважається подія, що полягає у виході кожного з заданих параметрів якості (точності) обробки за встановлені межі, тому ці відмови відносяться до категорії параметричних відмов, а технологічна надійність верстатів є розділом параметричної надійності машин. Варто мати на увазі, що параметричні відмови найбільш характерні для технологічного устаткування, тому що відображають вплив різноманітних процесів старіння на зміну працездатності верстата.

В процесі експлуатації при спеціально організованих спостереженнях і дослідженнях можуть бути виявлені відмови функціонування, що приводять до зупинки верстата із ЧПК або до неприпустимих умов його роботи, Ці відмови є наслідком неправильних методів конструювання, виготовлення або експлуатації верстатів, у той час як параметричні (технологічні) відмови властиві будь-якій складній технологічній системі.

Точність верстата із ЧПК може змінюватись через дію різних процесів (вібрацій, теплових деформацій верстата, зносу поверхонь, що сполучаються,

зникнення або перекручування сигналів при проходженні їхній по каналах системи керування й ін.). Ці процеси є, як правило, випадковими (стохастичними), тому відмови по точності обробки, як наслідок процесів, мають дисперсію і підкоряються закономірностям для випадкових подій. По швидкості протікання процеси можна підрозділити на три основні групи: швидко протікають; протікають із середньою швидкістю; повільно протікають [8, 9].

Усі процеси, діючи на верстат і пристрій ЧПК, змінюють їхні початкові параметри, що приводить до параметричних відмов.

Для оцінки технологічної надійності верстатів із ЧПК застосовують наступні показники: $P(t)$, δ_t , K_t , γ_t , γ_k і T_p .

Показник $P(t)$ — імовірність безвідмовної роботи верстата по точності обробки за міжналагоджувальний період $T_{\text{мн}}$ і, тобто імовірність того, що в інтервалі часу $t=T_{\text{мн}}$ і виникає відмова, зв'язана з точністю обробки, через верстат або систему керування. Міжналагоджувальний період $T_{\text{мн}}$ — це регламентований період роботи верстата із ЧПК до його наладки, обумовлений: організаційними причинами (наприклад, кінцем зміни); погіршенням показників обробки з причин, які не залежать від верстата із ЧПК (наприклад, необхідністю зміни інструмента, що ріже,), або необхідністю підналагодження механізмів верстата. Варто мати на увазі, що значення $P(t)$ не завжди є достатнім для оцінки технологічної надійності, тому що не дозволяє судити про резерв верстата з ЧПК по точності обробки δ_t (у загальному випадку $\delta_{\text{тн}} = \delta_t$).

Показник δ_t — резерв (запас) верстата із ЧПК по точності обробки — різниця між допуском δ на визначений параметр і регламентованим найбільшим (екстремальним) значенням похибки обробки $\delta_{\text{ек}}$ без обліку похибки інструмента, деталі і пристосування):

$$\delta_t = \delta - \delta_{\text{ек}}, \quad (1.1)$$

Частка похибки обробки, внесена верстатом із ЧПК, повинна бути менше допуску на даний параметр, тому що необхідно запас на похибку програми керування і похибку пристосування, інструмента, заготівлі.

Показник K_T – коефіцієнт резерву верстата із ЧПК по точності обробки (запас надійності) визначається для кожного з регламентованих параметрів точності обробки по формулі

$$K_T = \frac{\delta}{\delta_{ек}} \geq 1. \quad (1.2)$$

Значення $\delta_{ек}$ встановлюється з урахуванням імовірності невиходу фактичного значення $\delta_{ф}$ за межу $\delta_{ек}$. Резерв верстата із ЧПК по точності обробки в цілому можна охарактеризувати як мінімальний з одержуваних значень K_T або тим з його значень, що визначає ресурс верстата по точності обробки.

Показник γ_T — швидкість зміни резерву верстата з ЧПК по точності обробки:

$$\gamma_T = \frac{dK_T}{dt} \quad (1.3)$$

Показник γ_K – швидкість зміни коефіцієнта резерву верстата із ЧПК по точності обробки K_m (швидкість зміни запасу надійності):

$$\gamma_K = \frac{dK(t)}{dt} \quad (1.4)$$

Показник T_p – ресурс верстата із ЧПК по точності обробки – напрацювання у годинник до втрати точності обробки верстата із ЧПК по кожному з параметрів якості (точності) обробки. Цей показник, як правило, визначає потребу верстата із ЧПК в капітальному ремонті. Тому можливо збіг

значень ресурсу верстата із ЧПК по точності обробки і ресурсу до капітального ремонту міжремонтний ресурс за ДСТ 16503-70.

Для визначення чисельних значень показників надійності потрібна інформація про зміну параметрів верстата в часі або про виникнення відмов функціонування. Одержання цих даних – складна задача, тому що зміна працездатності будь-якої машини в процесі її експлуатації повільний процес.

Розглянемо схему можливих джерел інформації про надійність верстата з етапу його проектування і до закінчення експлуатації (рис. 1.3). При проектуванні верстата на основа даних готового проекту інформацію про надійність виробу, можна одержати лише розрахунковим шляхом. Якість і вірогідність розрахунків дозволить уже на стадії проектування закласти в інструкцію необхідний рівень надійності верстата.

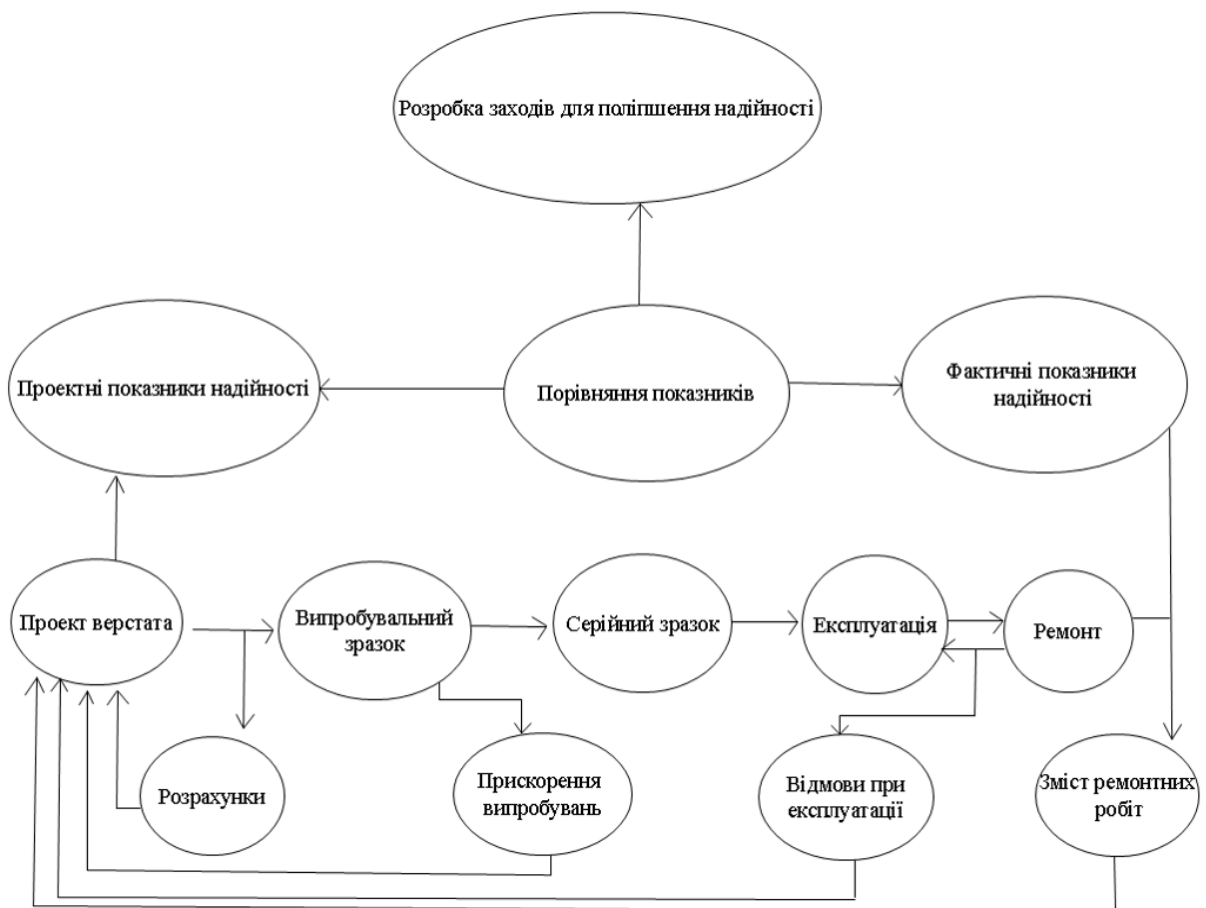


Рисунок 1.3 - Інформаційна система визначення надійності верстата

Після деякого періоду експлуатації серій верстатів, починає надходити інформація про виникаючі відмови, що є наслідком недоліків конструкції, допущених через розходження між реальними умовами експлуатації й умовами прискорених іспитів і через недосконалі методи розрахунку.

Заплановані види ремонту– терміни служби окремих деталей і механізмів, трудомісткість їхнього ремонту, заходів, зв'язаних з контролем і відновленням вихідних параметрів верстата й ін. – є тим джерелом інформації, що дозволяє судити про надійність верстата і його елементів.

Статистичні дані про терміни служби елементів верстата в процесі його експлуатації і ремонту дозволяють визначити показники надійності для даної моделі з урахуванням різних режимів роботи й умов її експлуатації і можуть бути використані при проектуванні нових верстатів.

Недоліком статистичних досліджень є необхідність мати достатнє число верстатів, що працюють тривалий час. Результати досліджень часто важко застосувати на етапі проектування, тому що новий верстат має інші параметри чим той, на якому зібраний статистичний матеріал. Статистичні дані про відмови лежать в основі більшості розрахунків надійності різних виробів і машин. Теорія надійності в цьому випадку дає методи обробки статистичної інформації для одержання необхідних показників і в першу чергу імовірності безвідмовної роботи протягом заданого проміжку часу. Для складних систем, до яких відносяться і верстати, статистика по відмовах окремих елементів дозволяє також аналізувати й оптимізувати їхню структуру, застосовувати необхідні методи резервування, виявляти елементи з не достатньою надійністю. Такі розрахунки надійності широко описані в технічній літературі стосовно щодо радіоелектронних пристроїв, літальних апаратів, двигунів, автомобілів і іншим виробам. Однак застосування цих методом оцінки надійності, особливо для механічних систем і машин, що відрізняються великою розмаїтістю конструктивних рішень, не дає, як правило, необхідного ефекту. Це зв'язано не з недоліками математичних методів розрахунку надійності на основі

статистичної інформації, а з відсутністю або недостатністю вихідної інформації про відмови.

Для оцінки надійності виробів на стадії їхнього проектування і при наявності добрих зразків треба проводити вивчення процесів, що змінюють початкові параметри машини (зносу, сталості, корозії), і розробка методів прогнозування втрати працездатності в передбачуваних умовах експлуатації.

Щоб оцінити параметричну надійність металорізального верстата, на стадії проектування, при наявності доброго зразка або при недостатній інформації зі сфери експлуатації необхідно користуватися загальною моделлю втрат виробом працездатності.



Рисунок 1.4 - Блок-схема відмови спрямівниць верстата

На рисунку 1.4 показаний спрощений варіант блок-схеми виникнення відмови для спрямівниць металорізальних верстатів. Спрямівниці ковзання, що служать для переміщення столів і супортів, грають у верстатах особливу роль, тому що від їхньої точності і довговічності залежить точність обробки [9]. Для забезпечення надійності роботи верстата необхідно оцінити можливість виникнення відмови по точності з вини спрямівниць. Енергія, що діє на верстат і в тому числі на спрямівниці, у виді механічної, теплової і хімічної енергії може викликати такі процеси, як знос, теплову деформацію, корозію, що змінюють початковий стан спрямівниць.

Для виникнення процесу зношування, якщо дотримувати сталісної теорії зносу, необхідно, щоб тиск p у спрямівниць не перевершувало деякого критичного значення $p_{кр}$. Останнє відповідає напругам, що виникають у мікровиступах поверхонь при їхньому взаємному впровадженні в процесі тертя. Ці напруги повинні бути нижче тривалої межі втоми для даної пари матеріалів, що звичайно приводить до підвищених габаритів спрямівниць і тому, як правило, $p > p_{кр}$, тобто мають місце умови для виникнення сталісного зносу.

Умова відсутності теплових деформацій полягає в забезпеченні сталості температури $\tau = \text{const}$. Тому прецизійні верстати, як правило, працюють у термokonстантних приміщеннях. Для верстатів нормальної точності, що працюють у звичайних умовах, частка теплових деформацій у балансі точності звичайно невелика.

Щоб оцінити можливе протікання корозії, яка для спрямівниць зв'язана як з атмосферними впливами, так і з дією охолодної рідини, необхідно на базі законів хімічної термодинаміки визначити термодинамічну стійкість металу в даному середовищі. Для цього найбільше часто використовується ізобарно-ізотермічний потенціал (функція Гіббса). Корозійний процес можливий, якщо стандартний розмір зміни цього потенціалу $\Delta G < 0$.

Тому для кожного виду енергії, що діє на виріб, можна установити граничні умови для виникнення шкідливих процесів, що при їхньому розвитку можуть привести до відмови.

Основною причиною втрати працездатності для спрямівниць верстатів є знос [9]. Пошкодження поверхні в результаті зносу приводить до перекручування початкової форми спрямівниць, що впливає на точність обробки. Тому вихідний параметр верстата, похибка обробки Δ , функціонально зв'язаний зі зносом спрямівниць U , тобто $\Delta = f(U)$. Однак якщо Δ не перевершує допустимого (за вимогою точності до верстата) значення, то відмови не виникає.

Блок-схема відмови і побудована на її базі програма для розв'язку на ЕОМ задач по оцінці безвідмовності виробів базується на математичному описі процесів пошкодження і їх зв'язків з вихідними параметрами виробу.

Розглянутий приклад для спрямівниць верстатів показує, що етап оцінки рівня механічних впливів і їхній вплив на інтенсивність зносу вирішується на основі теорії зношування матеріалів. Ступінь пошкодження поверхні (перекручування їхньої початкової форми) і зв'язок зносу з вихідними параметрами машин вирішується методами теорії розрахунку на знос машин і їхніх елементів, а судження про припустимі значення вихідних параметрів машини і про хід процесу втрати нею працездатності розглядається теорією надійності машин (для верстатів це їхня технологічна надійність [10]).

Таким чином бачимо, що необхідним етапом для розрахунків і математичного опису процесів втрати машинної працездатності є складання блок-схеми виникнення відмови.

Розрахунок і прогнозування параметричної надійності стосується звичайно останніх етапів блок-схеми, коли вирішуєте питання про перебування параметра в припустимих межах і оцінюється імовірність цієї події.

Загальна схема формування параметричного відмови машини надана на рисунку 1.5. Відмова відбудеться тоді, коли розглянутий параметр X функціонування в результаті протікання в машині різних шкідливих процесів, і в першу чергу зносу, досягне свого гранично припустимого значення $X_{\max}$.

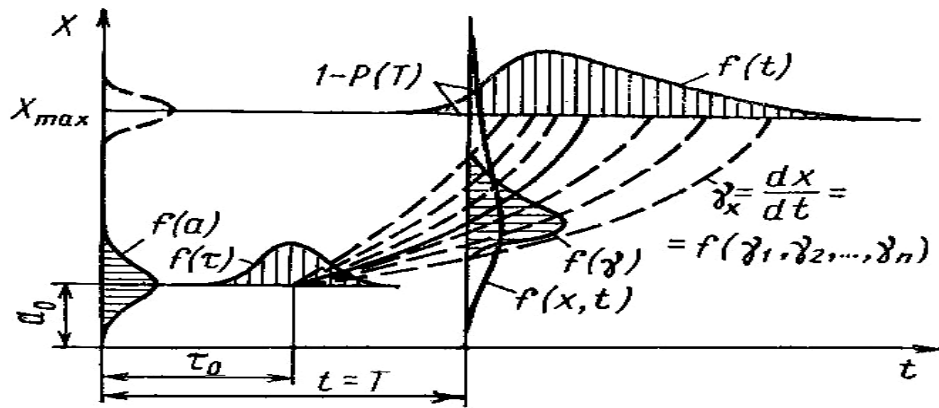


Рисунок 1.5 - Схема формування параметричної відмови [9]

Час досягнення граничного значення (напрацювання до відмови або термін служби) є випадковою величиною, тому основною її характеристикою буде закон розподілу t , наприклад, щільність імовірності $f(t)$. Знання цього закону дозволить вирішувати основні задачі по оцінці надійності виробу, тому що при будь-якому фіксованому значенні часу роботи виробу $t = T$ можна визначити імовірність його безвідмовної роботи $P(t)$.

Схема відображає основні етапи формування закону $f(t)$. Спочатку треба врахувати розсіювання параметрів машини $f(a)$ щодо свого математичного чекання a_0 . Це зв'язано як з розсіюванням початкових показників нової машини, так і з протіканням таких процесів, як вібрація, температурні деформації й інші, котрі виявляються відразу ж при роботі машини. Потім на погіршення параметрів машини в процесі експлуатації відбиваються повільно протікаючи процеси й у першу чергу знос. Слід зазначити, що в загальному випадку процес зміни параметра може початися через деякий проміжок часу τ , що також є випадковою величиною і зв'язаний з нагромадженням пошкоджень.

У результаті всіх цих явищ відбувається формування закону розсіювання параметра $f(X, t)$, що визначає імовірність виходу параметра X за кордон $X_{\max}$, тобто імовірність відмови $F(T)=1-P(T)$. У загальному випадку значення $X_{\max}$

також може мати розсіювання, якщо воно оцінює діапазон вимог споживача до граничних значень показників машини.

Розглянемо реалізацію даної схеми для випадку, коли початкові значення параметра функціонування X розподілені по нормальному закону (його параметри a_0 і σ_a), $\tau = 0$ і процес зміни підлягає лінійної залежності, причому його швидкість має розсіювання з параметрами $\gamma_{\text{порівн}}$ і σ_x (рис. 1.6).

Тоді імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ при даному значенні $t = T$ може бути підрахована по формулі

$$P(T) = \Phi \left[\frac{X_{\max} - a_0 - \gamma_{\text{порівн}} T}{\sqrt{\sigma_a^2 + (\sigma_x T)^2}} \right] \quad (1.5)$$

де Φ – нормована функція Лапласа $0 \leq \Phi \leq 0,5$;

$t = T$ – тривалість експлуатації машини.

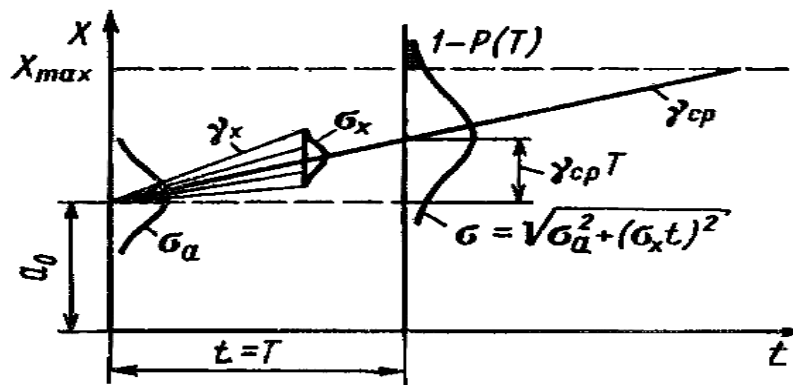


Рисунок 1.6 - Схема для прогнозування надійності при лінійному законі зношування [9]

Розподіл $f(t) = \frac{dP}{dt}$ не підкоряється нормальному закону. Формула (1.7) отримана з умови оцінки імовірності виходу параметра X за припустимі

межі $X_{\max}$. При цьому вважалось, що розсіювання параметра X підкоряється законові з математичним чеканням ~~μ~~ μ і середнім квадратичним відхиленням ~~σ~~ $\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$.

При розгляді втрати працездатності машини в загальному випадку необхідно враховувати всі категорії процесів, що впливають на її параметричну надійність.

1.6 Точність обробки на верстатах з ЧПК

В металообробці під точністю обробки розуміють точність розмірів, форми і взаємного розташування оброблених поверхонь, їх хвилястість та шорсткість. Підвищення точності – це результат нових технічних рішень при проектуванні, виготовленні і експлуатації технологічного обладнання.

Точність обробки залежить від усіх компонентів технологічної системи: технологічної машини (верстата), інструмента, заготівки, пристосування, від їх технічного рівня та якості. Кожен з цих компонентів впливає на утворення похибок, тому необхідно встановити які вимоги необхідно висувати до окремих компонентів технологічної системи для того щоб досягти необхідного рівня вихідного параметра усієї системи – заданої точності обробки. Схема технологічної системи наведена на рисунку 1.7.

Розберемо докладніше вхідні параметри компонентів технологічної системи. Значення цих параметрів дає змогу встановити обґрунтовані вимоги і нормативи до якості і надійності даного компонента.

Беспосередньо сам верстат є найбільш складним компонентом технологічної системи. Для верстата необхідно виявити і встановити такі характеристики, з одного боку, які були б пов'язані з точністю обробки, а з іншого боку – характеризували б тільки верстат, його показники якості і надійності.

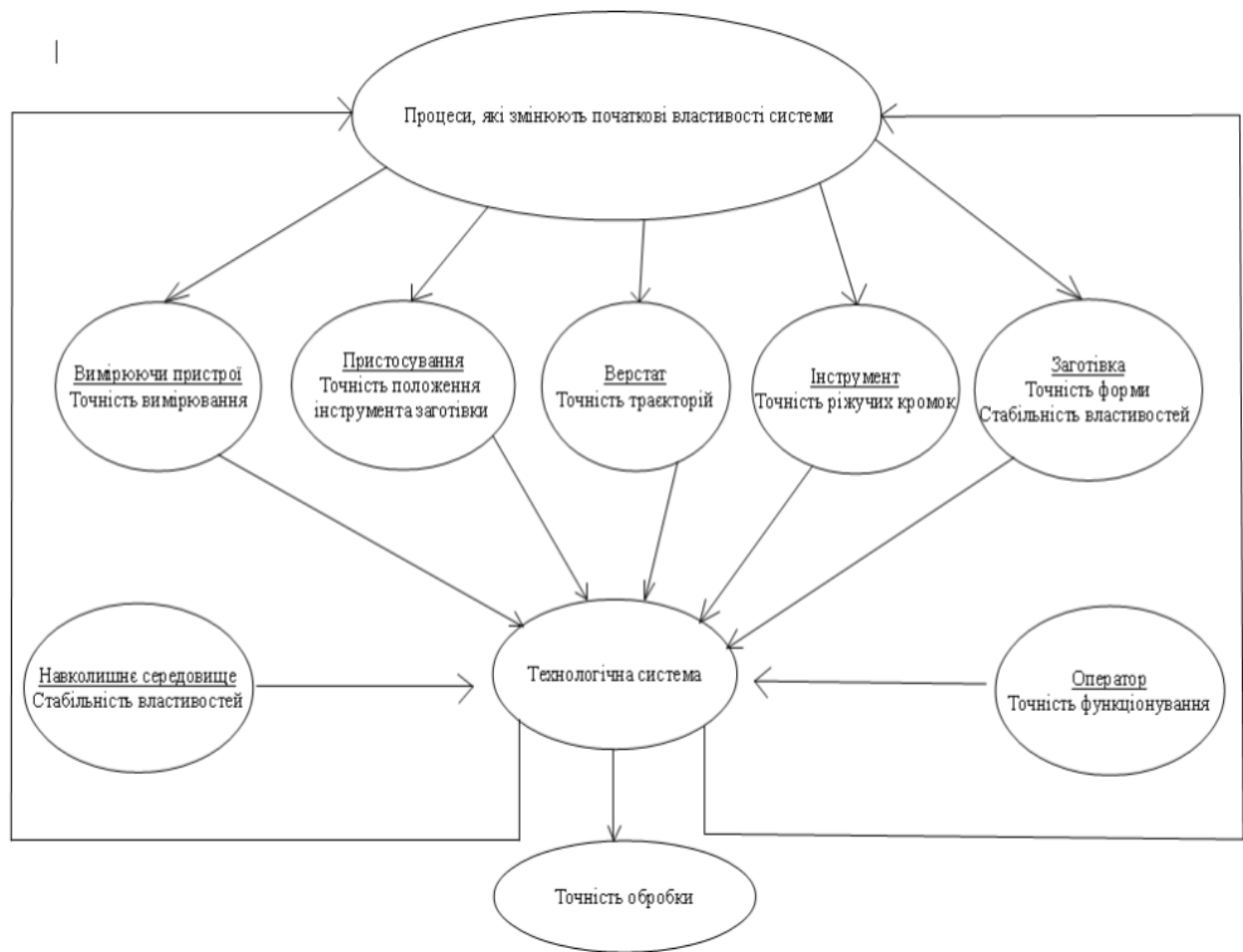


Рисунок 1.7 - Схема технологічної системи

Основним вихідним параметром верстата, як елемента технологічної системи є характеристика формоутворюючих вузлів верстата [1]. Якість верстата залежить від того, з якою точністю виконуються заплановані в технологічному процесі обробки взаємні переміщення інструмента та заготівки при сприйнятті ним всього комплексу силових і теплових дій. Так, ідеальний верстат, той що не вносить свого внеску в утворення похибок оброблюваної деталі, і який можна представити як верстат, котрий здійснює необхідні переміщення по заданим геометричним траєкторіям, що не змінюються при будь-якому впливі на його вузли. Однак, будь-яка складна система має властивості відхилятися від ідеальних характеристик, що закладенні при її проектуванні. Тому для верстата необхідно оцінювати відхилення від ідеальних

траєкторій, які будуть характеризувати його якість як одного з основних компонентів технологічної системи.

Наступна характеристика -точність траєкторій. Вона залежать від призначення верстата і може містити такі показники, як точність положення траєкторії у вибраній системі координат, величину відхилення від номіналу на площині або просторі, точність фіксації закінчення траєкторії (точність позиціонування вузла), кривизну траєкторії, точність здійснення руху за часом, мікро відхилення та ін.

В утворенні поверхні заданої форми бере участь безпосередньо ріжучий інструмент, який працює в інтенсивному термодинамічному режимі. Основний його вихідний параметр – точність ріжучих кромок та прилягаючих поверхонь різання. Інструмент дає похибку через відхилення від початкової конфігурації його ріжучої частини від заданої. Пристосування повинно забезпечувати задану точність положення інструмента або заготовки. Деформування та зношення затискних елементів змінюють початкові характеристики точності пристосування, зношення збільшує з часом відповідну складову сумарної похибки обробки.

Заготовка характеризується точністю форми і стабільністю властивостей матеріалу. Відповідно точність форми заготовки значно нижча від точності форми оброблюваної деталі. Нерівномірний припуск, деформація заготовки, нерівномірне розподілення твердості, технологічні дефекти матеріалу, зміни в поверхневому шарі в результаті впливу процесу різання на характеристики. Розглянемо вхідні параметри кожного з компонентів технологічної системи. Значення цих параметрів дає змогу встановити обґрунтовані вимоги і нормативи до якості і надійності даного компонента.

Якість верстата залежить від того, з якою точністю виконуються заплановані в технологічному процесі обробки взаємні переміщення інструмента та заготовки при сприйнятті ним всього комплексу силових і теплових дій [2]. Так, ідеальний верстат, той що не вносить свого внеску в утворення похибок оброблюваної деталі, і який можна представити як верстат,

котрий здійснює необхідні переміщення по заданим геометричним траєкторіям, що не змінюються при будь-якому впливі на його вузли. Однак, будь-яка складна система має властивості відхилятися від ідеальних характеристик, що закладені при її проектуванні. Тому для верстата необхідно оцінювати відхилення від ідеальних траєкторій, які будуть характеризувати його якість як одного з основних компонентів технологічної системи.

Вимірювальні засоби необхідно враховувати, як самостійний компонент технологічної системи при активному контролі, коли вони виділенні в окремий комплекс. Похибка вимірювання оброблених деталей здійснює суттєвий вплив на досягнення необхідної точності обробки. Необхідно брати до уваги, що характеристики вимірювальних засобів, які є елементом управління і контролю параметрами металорізального верстата (наприклад, датчики зворотного зв'язку у верстатах з програмним керуванням) враховуються при оцінці його вихідних параметрів.

Оператор, котрий приймає участь в здійсненні технологічного процесу, також може вносити похибки в точність обробки, або навпаки, допомагати при досягненні більш високого рівня точності. Тут має місце реалізація взаємодії більш складної системи „людина - машина”.

Навколишнє середовище є тим елементом технологічної системи, в умовах якого функціонують всі компоненти. Тому стабільність його властивостей, в першу чергу, вимоги до температури, запиленість атмосфери, вологість, вібраційні впливи повинні бути регламентовані в залежності від впливу на точність обробки. Це відноситься і до технологічних середовищ, наприклад застосування ЗОР [2].

Тож, щоб забезпечити потрібний рівень якості продукції необхідно регламентувати вимоги по точності і стабільності до вихідних параметрів всіх компонентів технологічної системи.

1.7 Втрата працездатності верстатом з ЧПК по точності

Модель втрати верстатом працездатності є класифікація шкідливих процесів по швидкості їхнього протікання. Кожен верстат має початкові похибки, що залежать від його конструкції і ступеня досконалості виготовлення. Його механізми володіють деякою геометричною неточністю, неабсолютною статичною твердістю й іншими показниками, що визначають початкову неточність функціонування. Ця неточність спостерігається й у тому випадку, якщо відсутні процеси, що змінюють параметри верстата.

Загальний випадок втрати верстатом працездатності в часі схематично зображений на рис. 1.8. Нехай X – один з параметрів, що характеризують точність верстата, а δ – частина, на яку може бути знижений (погіршений) параметр без виходу його за припустимі межі, тобто δ – це ті припустимі похибки в роботі верстата, що не приводять до порушення його працездатності. Процес зміни параметра X на величину δ з плином часу t , тобто процес зміни стану верстата, і являє собою загальну картину поступової утрати верстатом працездатності, що відбувається при його експлуатації.

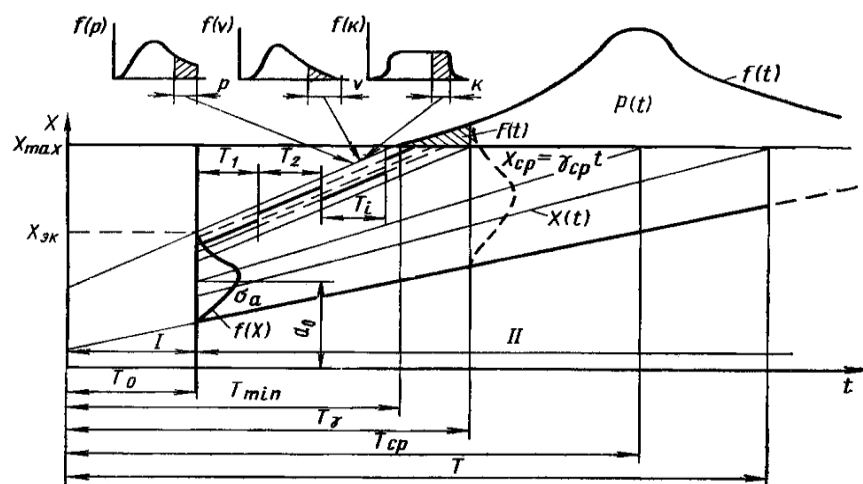


Рисунок 1.8 - Схема втрати верстатом працездатності

На початку роботи верстату швидкопротікаючі процеси приводять до подальшого збільшення погрішностей його роботи. При цьому необхідно мати на увазі дві обставини. По-перше, випадковий характер цих процесів, у результаті чого зміна параметрів верстата буде визначатися полем розсіювання A_1 . По-друге, можуть бути трохи одночасно протікати процеси, і загальний ефект від їхньої взаємодії може бути оцінений, якщо скористатися вірогідностним методом шарування дисперсій окремих процесів. Так, якщо на початку роботи верстата діють два основних фактори — розсіювання параметра X щодо центра групування a_0 у межах полюси A_n за рахунок похибок налаштування і розсіювання параметра X у межах полюси A_n у результаті вібрацій, то загальне поле розсіювання A_1 параметра X буде складатися з A_n і A_v що при вірогідностному методі додавання буде виражено формулою

$$A_1 = \sqrt{A_n^2 + A_v^2} \quad (1.6)$$

Вплив процесів середньої швидкості виявляється в тому, що центр розсіювання a_0 зміщується за період T_0 на величину a_c , причому цей процес також має розсіювання, що характеризується зоною a_c . З процесів середньої швидкості необхідно в першу чергу виділити температурні деформації верстата.

Зона розсіювання щодо зміщеного центра групування складається з A_1 і A_c . Скориставшись вірогідностним методом додавання, одержимо

$$A_2 = \sqrt{A_1^2 + A_c^2} \quad (1.7)$$

Таким чином, до кінця періоду T_0 залишається невитрачений резерв точності функціонування (запас надійності)

$$S = \frac{A_2}{A_0} \left(\frac{a_0}{a_0 + a_c} \right)^2 \quad (1.8)$$

Поле розсіювання параметра X за цей період визначається зоною I (див. рис. 1.8). При наявності резерву δ_T надійність верстата досить висока, тому що імовірність виходу параметра X за межі δ мала. Небезпеку представляють лише раптові відмови від зовнішніх впливів, не зв'язаних з роботою самого верстата.

Виявлення повільно протікаючих процесів, таких, як знос, корозія, жолоблення й інших, котрі приводять до зменшення запасу δ_T по параметрі X починаються при тривалій експлуатації верстата.

Параметричну надійність верстата визначають такими змінами величин:

- збільшення зони A_B відбувається в результаті росту зазорів у сполученнях при їхньому зносі, зміни твердості й інших характеристик, що впливають на швидко протікають процеси;
- збільшення зони A_H відбувається в результаті зносу і старіння налагоджувальних елементів верстата;
- збільшення a_0 є наслідком зносу, жолоблення й інших змін, що мають місце в основних сполученнях і вузлах верстата. Звичайно це головний параметр, що впливає на зниження працездатності верстата;
- збільшення a_c і A_c може мати місце в результаті підвищення тепловиділення через зріст коефіцієнта тертя, зростання навантажень і інших явищ, що відбуваються при зношуванні механізмів.

Збільшення зони розсіювання параметрів верстата при тривалій його експлуатації (зона II) приведе до росту імовірності виходу параметра X за межі допуску, тобто до зменшення імовірності безвідмовної роботи верстата.

Параметричну надійність верстата можна характеризувати запасом надійності по точності:

$$P(t) = \frac{\delta_T}{\delta} \quad (1.9)$$

У період нормальної експлуатації верстата (до витрачення запасу надійності) імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ не є наочним показником

надійності. По її значеннях важко судити про резерв працездатності верстата й основною характеристикою буде значення K_T .

Граничним станом верстата варто вважати момент витрачення резерву точності, тобто коли $\delta_T=0$ при заданому значенні $P(t)$. Час роботи верстата (у годинах) до моменту настання $\delta_T=0$ (або $K_T=1$) визначає його ресурс T_p , тому що починаючи з цього часу верстат має потребу в ремонті або відновлення працездатності.

Якщо за якимись причинами експлуатація верстата продовжується, то можна прийняти одне з наступних рішень (рис.1.8, праворуч):

- зменшити період безперервної роботи верстата до значення T'_0 , при якому $\delta_m=0$;
- знизити режими роботи верстата до значень, що забезпечують $\delta_T=0$ (заштрихована зона);
- допускати зменшення запасу надійності верстата, підсиливши контроль за його станом.

Усі ці міри тимчасові, і ресурс верстата T_p визначається наробітком до $\delta_T=0$.

Таким чином, має місце складний механізм втрати верстатом працездатності, і витрачання в часі запасу параметричної надійності відбувається при дії всього комплексу процесів, що протікають у верстаті.

Виділимо основні періоди зміни початкової точності при експлуатації верстата із ЧПК :

- початковий період роботи, коли зміна точності обробки відбувається за рахунок швидко протікають процесів;
- міжналагоджувальний період, коли зміна точності відбувається в основному в результаті дії процесів, що протікають із середньою швидкістю;
- період тривалої експлуатації, коли на зміну точності обробки в основному впливають повільно протікають процеси.

Розрахунок і прогнозування зміни вихідних параметрів верстатів у результаті різних процесів старіння й у першу чергу зносу необхідне для оцінки показників їх технологічної надійності.

1.8 Іспит верстатів з ЧПК на технологічну надійність

Застосовують два основних види іспитів верстатів із ЧПК на технологічну надійність: дослідницькі (повні) іспити, що проводять для досвідчених зразків верстатів із ЧПК з оцінкою впливу на технологічну надійність всіх основних механізмів і блоків з обліком діючих на них процесів; контрольні (скорочені) іспити, що проводять для верстатів, що серійно випускаються, із ЧПК з оцінкою тільки тих механізмів і блоків, а також діючих на них процесів, що лімітують технологічну надійність.

При дослідницьких іспитах виявляються механізми верстата і системи керування, найбільшою мірою обробки, що впливають на зміну точності, визначається характер цього впливу в часі. На основі цих даних визначають зміст і періодичність контрольних іспитів.

Беручи до уваги складність верстатів із ЧПК і тривалість їхнього іспиту на технологічну надійність рекомендується сполучити іспити з прогнозуванням, проведенням на основі даних, одержуваних при іспиті досвідчених зразків верстатів, їхніх окремих вузлів і механізмів; інформації, одержуваної при аналітичних розрахунках, а також прискорених іспитах як самих верстатів, так і окремих механізмів.

Під прискореними іспитами розуміють іспити з максимально можливим скороченням часу, не зв'язаним з безпосереднім виготовленням деталей, при екстремальних режимах, навантаженнях і умовах, близьких до експлуатаційного. Іспити верстатів із ЧПК на технологічну надійність можна проводити по двох напрямках: іспит верстата в комплексі із системою

керування; іспит окремих механізмів, блоків і елементів верстата, пристрою ЧПК й ін.

Існують такі етапи іспитів верстатів із ЧПК на технологічну надійність :

- підготовка іспитів;
- визначення початкової точності верстата з урахуванням впливу пристрою ЧПК;
- визначення зміни точності обробки верстатом із ЧПК за міжналагоджувальний період;
- розрахунок показників технологічної надійності $P(t)$, $DO(t)$, і δ_m на основі іспитів верстата за міжналагоджувальний період;
- прогнозування зміни точності обробки верстатом із ЧПК при тривалій експлуатації;
- визначення зміни точності обробки при тривалій експлуатації верстата із ЧПК.

На першому етапі при підготовці іспитів проводять вивчення конструктивних особливостей і компонування верстата, типу застосовуваного пристрою ЧПК, приводів подач, схеми керування й ін. Визначають умови проведення іспитів шляхом вибору: вимог до стану випробовуваного верстата із ЧПК і його налаштування; параметрів, контрольованих при іспиті (оброблюваних деталей, параметрів частин випробовуваного верстата і пристрою ЧПК, процесу різання, навколишнього середовища); деталей, оброблюваних під час іспитів, методів їхнього базування і закріплення; інструмента, що ріже, і режимів різання при обробці деталей під час іспитів; методів і засобів контролю досліджуваних параметрів. Розробляють план проведення іспитів, методику обробки експериментальних даних і визначення чисельних значень показників технологічної надійності.

Розробляють структурну схему технологічної надійності досліджуваного верстата із ЧПК.

На другому етапі визначають початкову точність верстата із ЧПК в наступному порядку: установлюють необхідне число і види перевірок

початкової точності; проводять дослідження геометричної і кінематичної точності, статичної твердості, вібротривкості, точності автоматичної зміни інструмента, точності позиціонування (з визначенням зони нечутливості), точності відпрацьовування одиничних імпульсів; оцінюють початкову точність верстата із ЧПК в цілому.

На третьому етапі визначають зміну початкової точності верстата із ЧПК за міжналагоджувальний період у результаті швидко протікають процесів і процесів із середньою швидкістю.

На четвертому етапі роблять розрахунок показників технологічної надійності δ_t , $P(t)$ і K_t за результатами іспитів і інформації про зміну точності верстата із ЧПК за міжналагоджувальний період, коректують і розробляють другий (уточнений) варіант структурної схеми технологічної надійності і визначають шляхи підвищення резерву по точності обробки δ_t .

На п'ятому етапі прогнозують зміну точності обробки верстатом при тривалій експлуатації (на основі проведених звичайних і прискорених іспитів, обробки статистичних даних по експлуатації верстатів аналогічних моделей, а також аналітичних розрахунків, у першу чергу по зносу базових поверхонь).

На шостому етапі проводять іспит (спостереження) у процесі експлуатації з оцінкою зміни точності обробки верстатом із ЧПК при його тривалій експлуатації (в основному через дію повільно протікають процесів) і порівнюють із прогнозом. При експлуатації верстата відбувається зменшення δ_t і K_t , що характеризується швидкостями зміни γ_t і γ_k .

Підготовка іспитів. Вибір умов іспитів верстата із ЧПК залежить від задачі, що ставиться при іспиті. При іспиті на заводі-споживачі або на верстатобудівному заводі, що поставляє верстат із ЧПК цільовим призначенням, враховують тип виробництва і конкретні умови експлуатації верстата. Якщо споживач невідомий, то враховують статистичні дані, що характеризують досвід експлуатації цих верстатів у промисловості.

Вимоги до стану нових і відремонтованих верстатів із ЧПК визначаються відповідними нормативно-технічними документами.

При іспиті верстата із ЧПК встановлюють і підтримують типові умови експлуатації – методи обслуговування верстата і пристрою ЧПК, методи їхнього налагодження і регулювання механізмів, умови в цеху, вид виробництва й ін. Враховуються також положення системи планово-попереджувального ремонту (ППР), де при визначенні тривалості міжремонтного періоду й інших даних відбитий досвід експлуатації верстатів даного типу.

Для обробки на верстатах із ЧПК при іспиті вибирають деталі, характерні для даного виробництва, або спеціально розроблені типові деталі. При обробці типової деталі повинні здійснюватися основні технологічні операції, для яких призначений верстат, з найбільшими вимогами по точності обробки. Деталь повинна бути нескладною, при її виготовленні не повинно бути операцій, що зустрічаються рідко або не лімітують технологічну надійність верстата. Основою для розробки типової деталі є статистичні дані по виконуваним на верстатах операціям у визначених умовах експлуатації. Бажано мати зведення по тій частині машинного часу, що приходить на кожну операцію, а також мати перелік операцій, що лімітують технологічну надійність. При відсутності статистичних даних як типову деталь можна вибрати одну з деталей-зразків, зазначених у паспорті верстата із ЧПК для перевірки точності обробки. Однак варто мати на увазі, що в деяких випадках типова деталь може значно відрізнятися від деталей-зразків, зазначених у паспорті верстата, тому що вона враховує специфіку іншого виду виробництва [6].

Встановлені допуски на контрольовані розміри типової деталі повинні бути більш строгими, чим відповідні допуски на реальні оброблювані деталі, тому що при обробці типової деталі зводять до мінімуму вплив інших погрешностей (пристосування, інструмента і заготівлі). Потім установлюють вихідні параметри верстата і системи керування, що характеризують точність

обробки. При великому числі вихідних параметрів обмежують їх кількість і вибирають найбільш характерні і лімітуючі точності обробки.

Для виявлення найбільш характерних вихідних параметрів верстата і системи керування, а також параметрів їхніх вузлів і блоків, що роблять основний вплив на точність обробки, розробляється структурна схема технологічної надійності. Остання дозволяє виявити і показати: зв'язок різних параметрів верстата (геометричної точності, твердості, точності позиціонування й ін.) з параметрами, що характеризують якість оброблюваних поверхонь деталі; специфіку формування верстатом із ЧПК цих параметрів з урахуванням впливу різних процесів. Схема полегшує вибір найбільше «слабкого» (з погляду технологічної надійності) ланки досліджуваного верстата.

Структурна схема технологічної надійності складається в два етапи. На першому етапі її розробляють на основі аналізу конструктивних особливостей верстата із ЧПК і досвіду експлуатації верстатів аналогічних моделей. На другому етапі роблять уточнення і коректування схеми на основі інформації, отриманий ний при іспиті верстата із ЧПК на технологічну надійність.

При виборі інструмента, що ріже, (матеріалу і геометрії) і умов обробки (з охолодженням і без охолодження) враховують наявні нормативи по режимах різання і стандарти на різальний інструмент відповідно до вимог до точності і шорсткості оброблюваних деталей і технологічних можливостей верстата. При цьому або створюють умови, при яких розмірний знос інструмента не виявляється в процесі іспиту, або враховують знос при встановленні припустимого значення кожного вихідного параметра точності обробки.

При іспиті верстата із ЧПК встановлюють два режими обробки типової деталі – середній і максимальний, у залежності від яких вибирають матеріал деталі, різальний інструмент і умови обробки. Середній режим вибирають або на підставі обробки статистичних даних (застосовуваних частот обертання, подач, оброблюваних матеріалів, різальних інструментів і ін.), або за середнім значенням параметрів, що характеризують технологічні можливості верстата. Іспит на максимальному (екстремальному) режимі проводять для оцінки

можливості роботи верстата в найбільш важких умовах. У цих випадках рекомендується перевірити два екстремальних режими: силовий (з максимально припустимими силами різання) і швидкісний (з максимальною швидкістю різання). При силовому режимі найбільша похибка викликана деформацією вузлів, а при швидкісному – тепловиділенням і вібраціями. У ряді випадків рекомендується також виявити критичний режим, при якому через підвищені вібрації збільшується зона розсіювання розмірів. Вибір вимірювального інструмента й апаратури для визначення параметрів оброблюваних деталей здійснюється відповідно до виду кожного контрольованого параметра, з урахуванням припустимої похибки виміру, а також обсягу, періодичності і тривалості контролю.

Для проведення іспитів попередньо складають план іспитів і періодичності спостережень за контрольованими параметрами оброблюваних деталей, а також параметрами верстата, системи керування, процесу різання і навколишнього середовища.

Документи на іспит виконуються на увазі комплекту документів з дотриманням вимог ДСТУ і містять наступні основні розділи: характеристика виду й об'єкта іспитів; умови і план проведення іспитів; перелік робіт з організаційно-технічної підготовки проведення іспитів; результати іспитів; пояснювальна записка. Дані, що приводяться в кожному документі, при необхідності повинні кодуватися.

Оцінка початкового стану верстата із ЧПК по точності обробки. Початковий стан верстата із ЧПК по точності обробки характеризується наступними параметрами: геометричною і кінематичною точністю; статичною твердістю; точністю налагодження верстата на програму; точністю позиціонування; вібротривкістю і точністю автоматичної зміни інструмента.

Оцінка початкового стану верстата із ЧПК виробляється також комплексно — шляхом обробки заданої типової деталі (або декількох деталей) на прийнятих режимах різання з регламентацією одержуваних розмірів. В окремих випадках застосовують оцінку «методом обмацування» спеціального

еталона по заданій програмі. Перелік необхідних перевірок визначають у залежності від похибки траєкторії і положення механізмів верстата, що характеризують точність обробки типової деталі. Перевірки початкового стану верстата із ЧПК не заміняють перевірок, регламентованих стандартами, а включають їх.

При визначенні параметрів, що характеризують початковий стан верстата із ЧПК, необхідно враховувати, що вони є випадковими величинами (або випадковими процесу) не тільки при оцінці точності групи верстатів даної моделі, але і при іспиті одного верстата, мають властивість векторів (тобто потрібно враховувати не тільки їхню величину, але і напрямок дії — у площині або в просторі). Початок відліку при визначенні параметрів вибирають довільно, однак фіксують його і строго дотримують у процесі іспитів. Це необхідно для спостереження і визначення зміни параметрів у часі.

Перевірку геометричної точності роблять відповідно до норм точності, зазначеними в паспорті верстата. При необхідності проводять додаткові перевірки, не передбачені стандартами.

Вимір геометричних похибок і їхній наступний аналіз дозволяє оцінити їхній вплив на початковий стан верстата по точності обробки.

Кінематичну точність перевіряють у передавальних механізмах рушіїв подач і систем виміру переміщень робочих органів. У верстатах із ЧПК кінематичні ланцюги рушіїв подач значно коротше (у порівнянні зі звичайними верстатами), мають безззорні зубчасті передачі і гвинтові пари. Однак і в цьому випадку необхідно оцінювати вплив кінематичних погрешностей на початкову точність верстата.

Під навантаженням точність верстата із ЧПК буде інший внаслідок наявності пружних деформацій під дією сил різання, відцентрових сил, сил інерції, тертя й ін. Деформація пружної системи верстата залежить від якості збірки вузлів верстата і їхніх частин, а також від супутнього різання вібрацій. Твердість елементів пружної системи верстата визначається власною твердістю

деталей і вузлів, що входять у цю систему, і контактною твердістю стикових з'єднань цих деталей, що, як правило, відіграють основну роль.

Сили, що діють на пружну систему верстата, є величинами перемінними, тому умовно виділяють середню постійну силу, знаходять величину пружних деформацій між інструментом і заготівлею, тобто статичну помилку $\Delta_{\text{ст}}$. При оцінці статичної твердості використовують відповідні ДСТ і методики.

Перемінна складових сил, що діють на пружну систему верстата, дає динамічну складову $\Delta_{\text{д}}$ до статичної похибки $\Delta_{\text{ст}}$. Динамічну складову $\Delta_{\text{д}}$ визначають при іспиті вібростійкості верстата виміром відносних переміщень між інструментом і заготівлею по відповідних методиках.

Точність позиціонування, повторюваність і дискретність впливають на точність обробки. Точність позиціонування і повторюваність формуються всім комплексом верстата із ЧПК (його механічною частиною і системою керування) і залежать від багатьох факторів: похибки блоків і елементів пристроїв ЧПК ($\Delta_{\text{з}}$), похибки привода подач (двигуна $\Delta_{\text{дв}}$ і передавальних механізмів $\Delta_{\text{к}}$), геометричних похибок спрямівниць $\Delta_{\text{м}}$, погрешностей вимірювальних перетворювачів $\Delta_{\text{изм}}$ і ін.

Точність позиціонування оцінюється на основі методів математичної статистики за результатами ряду повторних випробувань з визначенням статистичних характеристик. Під похибкою позиціонування $\Delta_{\text{поз}}$ розуміємо відхилення дійсного положення робочого органа верстата від запрограмованого при його багаторазовому двосторонньому позиціонуванні в різних точках по шляху переміщення по одній з координатних осей.

Дійсні положення робочого органа верстата при його багаторазовому позиціонуванні (для наступного розрахунку і визначення $\Delta_{\text{поз}}$) вимірюють різними методами .

Для інших параметрів, що характеризують початковий стан верстата із ЧПК по точності обробки також визначають їхні середні значення і дисперсію.

Оцінка зміни точності обробки за міжналагоджувальний період. Зміна стану верстата із ЧПК по точності обробки за міжналагоджувальний період відбувається в основному під дією процесів, що протікають із середньою швидкістю, і в першу чергу через нагрівання верстата й елементів системи керування. Це приводить до теплових деформацій верстата і до зміни вихідних параметрів системи керування.

Тепловий режим верстата із ЧПК визначається багатьма джерелами тепла, які можна розділити на наступні групи: внутрішні джерела тепла верстата; внутрішні джерела тепла електроустаткування і пристрою ЧПК; тепло, яке виділяється в процесі різання; тепло навколишнього середовища. При роботі верстата тепловий режим постійно міняється, відбувається нерівномірне нагрівання деталей, що викликає зміну їх геометричних форм і відхилення в просторі. При цьому великий вплив нагрівання робить на лінійні і кутові зсуви елементів верстата (особливо базових елементів — колони, станини, стола й ін.). Наприклад, у верстатів вертикального компонування (фрезерних, розточувальних, свердлильних) найбільший вплив теплової деформації, як правило, роблять на формування параметра «точність розміру» уздовж осі Y.

При дослідженні температурного поля весь «обсяг» верстата розбивають на елементарні діапазони площинами, проведеними паралельно площинам ZOY , ZOX і YOX . Число площин розбивки і відстані між ними вибирають з обліком їх взаємного положення. Якщо верстат термосиметричний, то температурне поле вимірюють тільки в одній половині. При іспитах також вимірюють температуру олії в гідросистемі рушія й у системі змащення, температуру охолодної рідини і навколишнього середовища. Вимір температури роблять термометрами і термопарами.

Обробку типових деталей при оцінці зміни точності внаслідок теплових деформацій проводять протягом 7-8 год., починаючи кожний досвід на «холодному» верстаті. Необхідно враховувати, що час повного остигання верстатів значно (10-16 год.).

У процесі іспитів перевіряють геометричні параметри типової деталі, на які впливають теплові деформації, і відносне розташування заготівлі й інструмента, що ріже. Для одержання достовірних результатів виключають вплив зносу інструмента, що ріже, або враховують цей вплив, для чого спочатку і наприкінці досвіду вимірюють знос інструмента.

Оброблені деталі нумерують один за одним і вимірюють їхні геометричні параметри для визначення теплових деформацій. Результати вимірів заносять у таблиці і будують: графіки змін відносного розташування заготівлі й інструмента, що ріже, у часі; криві зміни температур елементів конструкції верстата, олії, навколишнього середовища й ін.

Для кількісної оцінки впливу теплових деформацій на точність обробки визначають: середній зсув центра розсіювання розмірів a_c обраних параметрів деталей (див. рис.1.8) за міжналагоджувальний період; зону розсіювання A_c величини a_c для ряду фіксованих моментів часу t роботи верстата; величину середньо квадратичного відхилення σ_c . При нормальному законі розподілу випадкової величини a_c зона розсіювання $A_c = 2 \cdot k_p \cdot a_c$.

Таким чином, при іспиті верстата протягом міжналагоджувального періоду, тобто за порівняно короткий термін (до п'яти-шести днів), можна оцінити всі складові за схемою на рис.1.8 для нового верстата і визначити запас надійності (точності K_T) по кожному з параметрів або значення δ_T .

Ці показники є визначеною характеристикою надійності верстата, однак вони не враховують процесів, що змінюють точність верстата. Для одержання основних показників надійності верстата треба знати як буде відбуватися зміна його параметрів у процесі експлуатації. На стадії проектування або при наявності досвідченого зразка необхідно застосовувати методи розрахунку і прогнозування надійності, як основного методу своєчасного одержання основних характеристик надійності верстата – його ресурсу T_p і відповідної йому імовірності безвідмовної роботи $P(t)$.

Програмний метод іспиту верстата в умовах дослідно-діагностичного комплексу. Найбільш ефективні методи іспиту верстата по параметрах якості і

технологічній надійності будуть у тому випадку, якщо: по-перше, вони будуть здійснюватися на спеціально обладнаному дослідно-діагностичному центрі з автоматизацією керування іспитом і обробки результатів дослідів; по-друге, при заміні процесу обробки програмним навантаженням для того, щоб у найкоротший термін одержати великий обсяг інформації про стан верстата; по-третє, буде здійснена регламентація тих вихідних параметрів, що оцінюють якість і надійність самого верстата, як елемента технологічної системи і відображають його внесок в утворенні похибки обробки.

Аналіз процесів формоутворення при обробці виробів на верстатах різного технологічного призначення дозволяє зробити висновок, що основними вихідними параметрами верстата, як елемента технологічної системи, повинні бути характеристики точності здійснення траєкторій переміщення робочих органів, що несуть інструмент і заготовлю. Адже якість верстата залежить від того, з яким ступенем точності їм виконуються закладені в технологічному процесі взаємні переміщення інструмента і заготовлі, при сприйнятті верстатом усього комплексу силових і теплових впливів. Так, ідеальний верстат, що не впливає на утворення похибок оброблюваної деталі, можна уявити собі як верстат, що здійснює необхідні переміщення по заданих геометричних траєкторіях (в основному лінійних і кругових), що не змінюються при будь-яких впливах на вузли верстата.

Відхилення реальних траєкторій від номіналу зв'язані з геометричною неточністю спрямівниць елементів верстата, з деформацією системи під дією силових і теплових факторів. Ці відхилення можуть змінюватися в часі при старінні системи. Вони виявляються як випадкові функції, оскільки зовнішні впливи, що викликають їх, також випадкові і залежать від спектра навантажень, умов і режимів роботи верстата при його експлуатації.

Все це формує область станів, тобто область існування обраних параметрів траєкторії і є інтегральною характеристикою якості верстата, тому що визначає його опірність усьому спектрові зовнішніх впливів. Чим менше

область станів, тим вище якість верстата, а чим повільніше вона змінюється в часі, тим вище його надійність.

Таким чином, при оцінці якості і надійності верстата його іспити повинні виявити області стану стосовно до тих показників точності контрольованих траєкторій, що є його вихідними параметрами, тому що саме вони впливають на процес формування точності оброблюваної деталі. Призначення контрольованих траєкторій, що визначають рух шпинделя, столу, супорта, повзуна або іншого виконавчого органа верстата виробляється на основі аналізу методу обробки і конструктивної схеми верстата.

Зрослі вимоги до якості і надійності металорізальних верстатів, широкі можливості точних вимірів різних параметрів верстата, у тому числі при його роботі, застосовність програмного навантаження верстата в процесі його іспиту, можливість нагромадження банку даних і швидкої обробки на ЕОМ великій інформації про параметри верстата і, нарешті, розвиток науки про верстати і формування нових поглядів на оцінку їхньої якості і надійності приводять до створення нової системи іспиту верстатів.

В основу так називаного програмного методу іспиту верстатів покладені наступні принципи:

- оцінити опірність верстата спектрові зовнішніх впливів, що відбивають експлуатаційні навантаження і виявити області стану для регламентованих вихідних параметрів. Области станів, тобто області, у яких із заданою імовірністю знаходяться вихідні параметри, порівнюються з відповідними областями працездатності (область припустимих значень вихідних параметрів). У результаті визначаються показники якості верстата й у першу чергу запас по кожному з параметрів, а також вірогіднісні характеристики області станів.

- вибирати показники точності здійснення траєкторій фіксованих точок верстата, що встановлюються в залежності від конструкції і призначення верстата і визначають його внесок у формування показників точності оброблюваної деталі.

- проводити іспит при одночасній дії силових і теплових факторів із програмним навантаженням працюючого верстата спеціальними пристроями. Умови іспитів повинні відбивати спектр експлуатаційних впливів. При цьому вихідні параметри можуть визначатися як у вірогідністному трактуванні (повна характеристика області працездатності), так і при екстремальних умовах (оцінка границі області працездатності). Іспит при обробці контрольного зразка (або зразків) проводиться для підтвердження висновків, зроблених при основних іспитах. Зразок повинен являти собою «типову деталь», найбільшою мірою відображаючи технологічні можливості верстата і тип оброблюваних деталей. Іспит верстата при обробці типової деталі потрібно також тому, що в ряді випадків імітація процесу різання складна, особливо з урахуванням теплового фактора і механізму виникнення автоколивань. Досліди в процесі різання повинні підтвердити вірогідність інформації, отриманої при іспиті методом програмного навантаження й установити ступінь наближення умов іспиту до реальних умов експлуатації.

- проводити іспити на спеціально обладнаних дослідно-діагностичних центрах (комплексах), де забезпечене програмне навантаження верстата, імітація зовнішніх впливів, і технологічної надійності верстатів виміру, необхідних параметрів у процесі роботи верстата й обробка інформації на ЕОМ. При цьому в пам'ять ЕОМ може уводитися вся інформація про параметри перевірених траєкторій, тобто про всі реалізації випадкової функції з наступною обробкою й одержанням тих характеристик, що необхідні для судження про якість верстата (математичне чекання відхилень від номіналу в заданій площині, область існування відхилень, кути нахилу траєкторій, дисперсія параметрів, кореляційні функції і т.п.).

У процесі іспиту ЕОМ виконує наступні функції:

- зберігає й обробляє результати іспитів;
- обробляє апріорну інформацію про експлуатаційні навантаження, характерних для даної моделі верстата;

- здійснює програмне керування режимами роботи і навантажувальних пристроїв верстата, включаючи імітацію зовнішніх впливів (накладення спектра вібрацій, керування тепловими потоками);

- здійснює розрахунки показників якості і прогнозує показники надійності верстата.

Розглянемо коротко послідовність і зміст етапів, який необхідно здійснити при розробці методики іспиту якості і надійності верстата по вихідних параметрах точності.

Першим етапом є вибір фіксованих (опорних) точок верстата, траєкторії яких можуть характеризувати його якість, як технологічної машини. Характеристики руху цих точок повинні бути вхідними параметрами для оцінки якості даного технологічного процесу, поряд із вхідними параметрами інших елементів технологічної системи. Тому опорні точки верстата слід, як правило, розташовувати на технологічних базах, що визначають положення заготівлі й інструмента. Наприклад, для столу фрезерного, координатно-розточувального, площинно-шліфувального верстатів – це точки (у загальному випадку три) поверхні столу, що визначають положення деталі.

Другим етапом є вибір тих параметрів, що повинні характеризувати траєкторії встановлених точок. У загальному випадку кожна реалізація даної точки є просторовою кривою, координати якої можуть бути обмірювані в часі і просторі. У багатьох випадках можна перейти до площинної задачі, розглядаючи перекручування траєкторії в напрямку, що визначає точність обробки. Вибір характеристик траєкторій проводиться на основі аналізу того внеску, що вони вносять в утворення похибок оброблюваної деталі.

Параметри досліджуваної траєкторії вибираються в прийнятій системі координат незалежних або побудованої на базових елементах верстата. Ними можуть бути відхилення від номіналу в заданому напрямку, кут нахилу траєкторій, координата фіксованої точки при зупинці робочого органа (точність позиціонування) і їхні вірогіднісні характеристики – математичне чекання, дисперсія. Нарешті, вихідним параметром верстата можуть бути

характеристики взаємного руху різних фіксованих точок у часі, наприклад, при обертальному і поступальному рухах.

Третій етап оцінки якості верстата по вихідних параметрах — це вибір метрологічних засобів і методів для визначення параметрів траєкторій фіксованих крапок. Як правило, найбільше доцільно застосовувати безконтактні датчики з перетворення безперервного сигналу в дискретний, що вводиться в пам'ять ЕОМ.

До метрологічних задач проведення іспитів відноситься також вибір системи координат, у якій вимірюються параметри траєкторії. Можливе застосування як єдиної системи координат (побудованої на незалежній від верстата базі), так і декількох систем, зручних для оцінки окремих траєкторій з визначенням їхнього взаємного положення.

Четвертий етап — це розробка методів і засобів програмного навантаження. Основна вимога в цьому випадку — можливість імітації зовнішніх впливів на верстат як силових, так і теплових. Програмні пристрої повинні керуватися за законом, який закладений в ЕОМ і, який відображає спектр експлуатаційних навантажень.

Перемінними факторами, що впливають на вихідні характеристики верстата і виявляються як випадкові величини або функції і які треба враховувати при плануванні іспитів, можуть бути: сила різання (її величина і напрямок), швидкість переміщення робочих органів верстата, положення робочих органів, зв'язане з розмірами оброблюваних деталей, зовнішні впливи на верстат (вібрації, теплові поля), експлуатаційні фактори (зазори і натяги з'єднань, змащення і забруднення поверхонь, тертя й ін.).

Багато що з зазначених параметрів може встановлюватися при керуванні від системи ЧПК верстата. Для цього розробляють спеціальну тест-програму. Експлуатаційні фактори, як правило, більш складно моделювати і тому можливе проведення іспитів при граничних (кращих і гірших) або середніх їх значеннях.

Повною характеристикою кожного з перерахованих факторів є закон розподілу даної випадкової величини, що виявляється з аналізу технологічних процесів і умов експлуатації, для яких призначений верстат.

П'ятий етап, що полягає у виявленні області станів по кожному з контрольованих параметрів, є основним змістом проведених іспитів.

Область існування вихідного параметра верстата формується як безліч, що складають реалізації при різному сполученні випадкових факторів. Якщо при іспиті це сполучення здійснюється з урахуванням законів розподілу випадкових факторів, то область станів також може бути охарактеризована законом розподілу даного параметра усередині цієї області. В останньому випадку можна сказати, з якою імовірністю буде знаходитися в заданих межах параметр, що характеризує точність досліджуваної траєкторії.

Для повної характеристики якості верстата, як нового, так і який знаходиться в експлуатації, необхідно виявити області станів для усіх установлених вихідних параметрів, яких для кожного верстата буде декілька (чотири – вісім параметрів).

Наявність запасу надійності по кожному з параметрів свідчить, що верстат знаходиться в працездатному стані. Однак величина цього запасу повинна встановлюватися з урахуванням швидкості його витрати. Ці дані можна одержати з досвіду експлуатації аналогічних верстатів або застосовуючи методи прогнозування втрати ними працездатності.

Прогнозування надійності, тобто оцінка часу, протягом якого з заданою імовірністю буде витрачений запас надійності по кожному з параметрів, можна здійснити, якщо відомі закономірності процесів старіння (наприклад зносу) і розроблена модель формування параметричного відмови.

Перспективним вважається оснащення верстатів автоматичними пристроями для налагодження інструмента. Доцільним оснащувати верстати з ЧПК системами контролю деталей або різального інструменту і підналагодження технологічних систем.

2 МОДЕРНІЗАЦІЯ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ

2.1 Дослідження програмних продуктів, які застосовуються для створення управляючих програм у станках з ЧПК

Головною умовою раціонального використання верстатів з ЧПК в промисловості є забезпечення високої якості технологічних процесів і ПК при мінімальних затратах праці і часу на їх підготовку і виготовлення [11].

Один з найбільш відповідальних і трудомістких етапів технологічної підготовки виробництва є підготовка керуючих програм. Дані зарубіжних фірм свідчать, що приблизно одна третина вартості деталей, що виготовляються на таких верстатах, припадає на програмування. Проблема особливо ускладнюється при ручному підготовці керуючих програм для обробки деталей зі складним контуром. Таким чином, все більш актуальним стає застосування для розробки програм різних систем автоматизованої підготовки керуючих програм (САПР), що різко підвищує їх якість і скорочує терміни підготовки виробництва [12].

Широке застосування вітчизняній і зарубіжній практиці знайшли такі САПР, як ADEM, Sprut CAM. Важливим моментом є виявлення найбільш оптимального середовища для розробки керуючих програм деталей важкого машинобудування. Об'єктом дослідження є технологічні процеси корпусних деталей.

Для корпусної деталі Корпус редуктора ЦЗ-900 (рисунок 2.1) складено керуючі програми і проведено їх порівняльний аналіз. Для отримання керуючої програми в кожній з систем були обрані: верстат, інструмент, оброблювані поверхні, тип операції, стратегія обробки, оптимальні режими різання, параметри підведення - відведення різального інструменту.

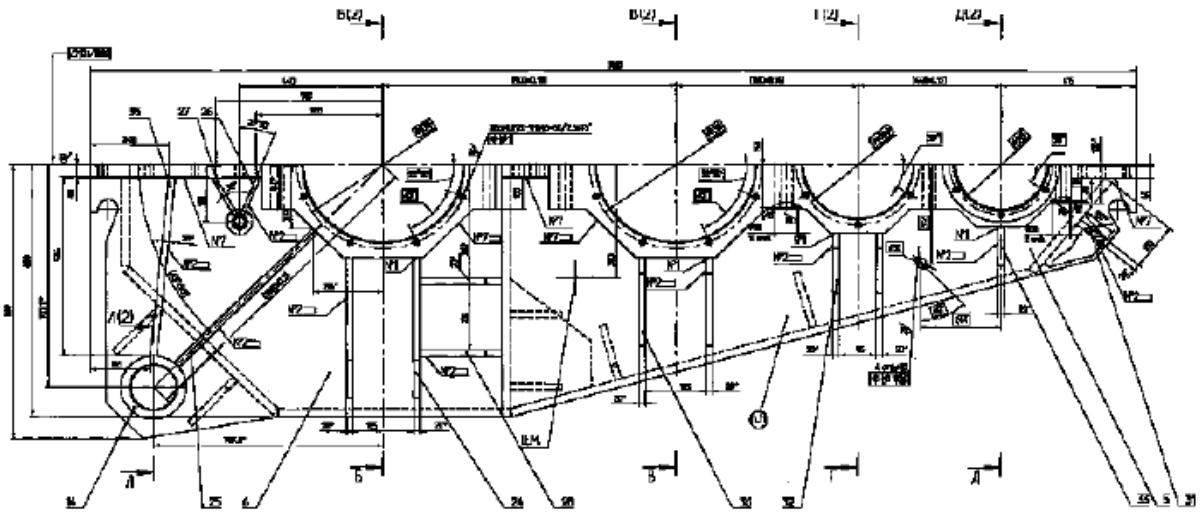


Рисунок 2.1 – Корпус редуктора ЦЗ-900

Система SprutCAM – система генерації керуючих програм для обробки деталей будь-якої складності на електроерозійних, токарних, фрезерних і токарно-фрезерних 2, 2.5, 3, 4 і 5 координатних верстатах з будь-яким типом пристроїв ЧПК. Функціональне наповнення і широкий набір інструментальних засобів системи забезпечує ефективне використання системи при виготовленні штампів, прес-форм, ливарних форм, прототипів виробів, майстер-моделей, деталей машин і конструкцій, оригінальних виробів, виробів з дерева, шаблонів, а також при гравірування написів і зображень. SprutCAM - система нового покоління, яка працює безпосередньо з геометричними об'єктами вихідної моделі (в тому числі і NURBS-представленні) без попередньої апроксимації або тріангуляції, що дозволяє економно використовувати ресурси комп'ютера і проводити розрахунок траєкторії руху інструмента з будь-якої необхідної точністю [11]. Основні режими роботи SprutCAM: імпорт і робота з моделлю; плоскі побудови; формування процесу обробки; моделювання процесу обробки (рисунок 2.2).

Система ADEM CAM дозволяє задавати технологічні переходи як для конструктивних елементів, що складаються з плоских 2D-контурів і 3D-моделей, створених в модулі ADEM CAD, так і для імпортованих об'ємних 3D-

моделей. ADEM CAM включає інструменти для редагування технологічного маршруту і моделювання процесу обробки.

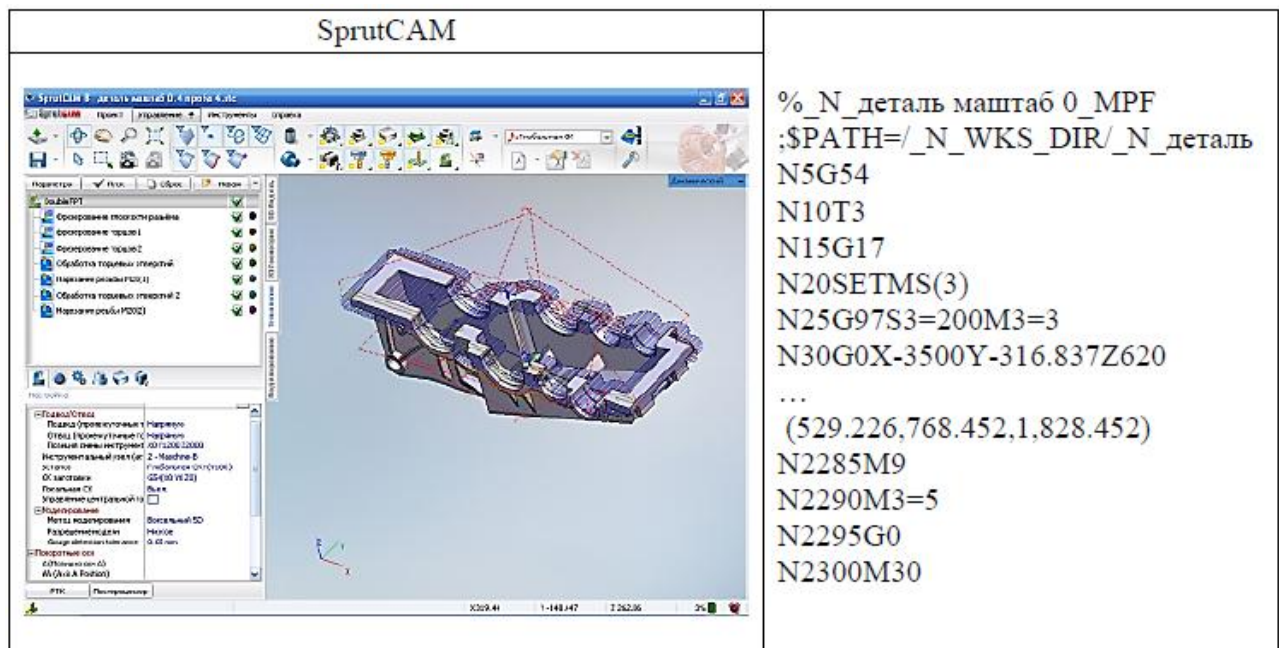


Рисунок 2.2 – 3D-моделі корпусу і фрагмент програми для верстата з ЧПК в SprutCAM

Результатом роботи модуля ADEM CAM є налагоджена в процесі моделювання керуюча програма для верстата з ЧПК. Технологічні об'єкти, що становлять технологічний процес обробки, є асоціативно пов'язаними з геометричною моделлю, створеної в ADEM CAD або імпортованої з інших систем проектування. Тобто всі зміни, внесені конструктором в геометричну модель проектного виробу, автоматично відбиваються на технологічному процесі обробки [12].

До базової функціональності ADEM можна віднести наступні можливості: проектування та планування впровадження нових технологічних процесів; плоске фрезерування; об'ємне фрезерування 3х-5х; фрезерування недоступних зон; токарна обробка; електроерозійна обробка (рисунок 2.3).

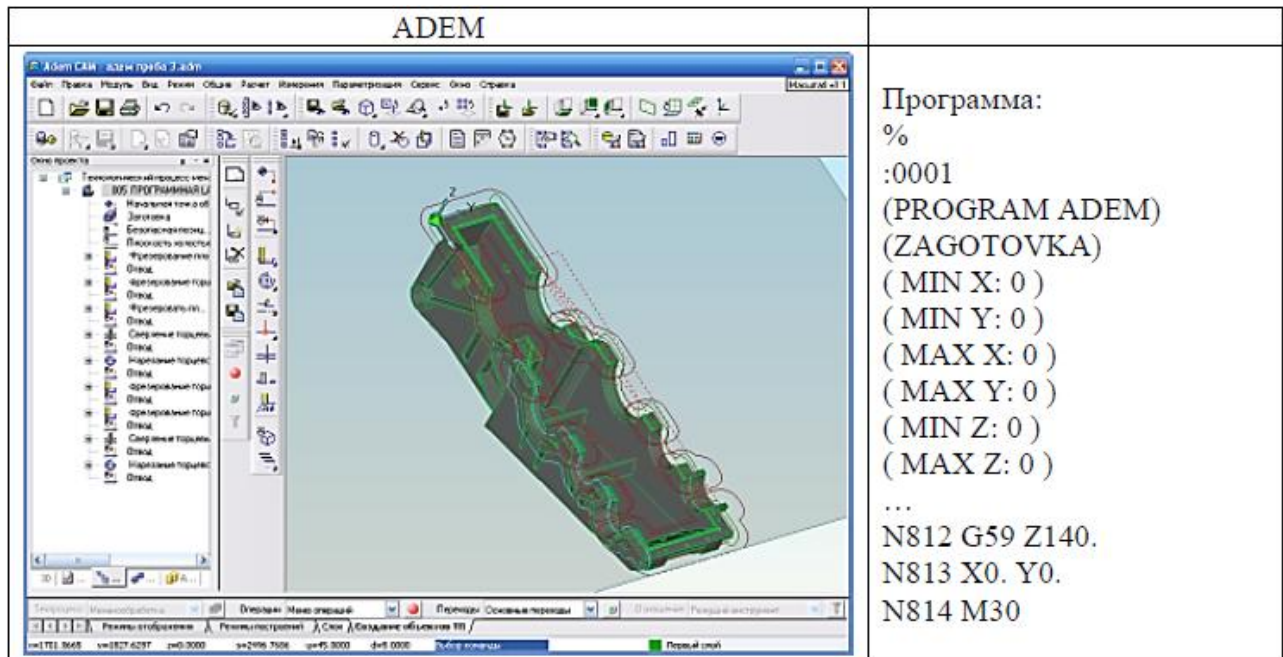


Рисунок 2.3 – 3D-моделі корпусу і фрагмент програми для верстата з ЧПК в ADEM

Наведені вище САМ здатні забезпечити високу якість технологічних процесів і раціональне використання комп'ютерної бази при мінімальних затратах праці і часу на їх підготовку і виготовлення.

2.2 Високошвидкісна обробка авіаційних деталей на верстатах з ЧПК

На даному етапі виготовлення металевих деталей каркаса планера літака в значній мірі пов'язане з ростом продуктивності механічної обробки, що забезпечує при підвищенні точності і чистоти також і суттєве зниження трудовитрат на ручну фінішну слюсарну обробку [13]. Широко використовуваним конструкційним матеріалом деталей силової конструкції планера є високолегована сталь, а переважний обсяг механічної обробки

складає фрезерування на верстатах (обробних центрах) з ЧПК. Основні особливості розглянутих деталей пов'язані з їх тонкостенністю, характерною для деталей авіаційних конструкцій, а також малої серійністю, обумовлюється програмами виробництва авіаційної техніки в Україні. У цьому плані важливо виділити компоненти, щоб забезпечити істотне підвищення ефективності виготовлення деталей в сучасному технологічному процесі виробництва.

Одним з найтриваліших і трудомістких етапів у механічній обробці авіаційних конструкцій є розробка і виготовлення технологічного оснащення, що забезпечує базування і закріплення виробів на столі верстата по технологічних переходах в процесі виготовлення. Поряд з традиційними режимами обробки, істотно поступаються по продуктивності сучасним процесам високошвидкісного фрезерування на 3-х координатних верстатах, широко використовується спеціальний різальний інструмент (для скорочення числа встановивши і сумарної довжини траєкторії руху)[14]. Контроль виготовлення проводиться з використанням контрольної шаблонної оснащення і контрольних пристосувань (майстер-макетів). Перенесення виготовлення авіаційних деталей на сучасні високопродуктивні і високоточні обробні центри з ЧПК для забезпечення радикального скорочення термінів виготовлення пов'язаний з вирішенням комплексу технічних завдань. Вони включають: комплектування ріжучого інструменту по етапах обробки (чорнова, напівчистова і чистове) з урахуванням зміни механічних характеристик оброблюваного матеріалу при проведенні термообробки; технологічне базування заготовки по етапах обробки з урахуванням послідовного зниження її жорсткості і ускладнення умов закріплення; виконання проміжних контрольних операцій і прив'язку (відносно розташування) вихідних точок керуючих програм і орієнтації їх відносно осей деталі; вибір раціонального розміщення притисків для забезпечення побудови ефективних траєкторій руху інструменту. Ще одним важливим фактором, що визначає процес обробки, є спільним визначенням її технологічних параметрів з формуванням керуючих програм обробки.

Наступний етап - вибір різального інструменту. Особливо відповідальні деталі авіаційних конструкцій виготовляються з поковок із сертифікованими характеристиками складу та структури металу. Як приклад на рисунку 2.4 показані заготовка і виготовлена з неї деталь. Вага заготовки ~ 500 кг, вага деталі ~ 20 кг.



а



б

а — заготовка , б — виготовлена деталь

Рисунок 2.4 - Приклад заготовки та виготовленої з неї деталі

Максимально продуктивне видалення матеріалу є центральним завданням. Величина залишені припуску при цьому повинна забезпечити загартування деталі і подальшу напівчистове і чистову (фінішну) обробку [15]. Характерні розміри припуску при цьому ~ 4 мм. Розподіл знімання матеріалу на подальших етапах обробки (напівчистої і чистої) пов'язані з характеристиками використовуваного інструменту. Метою стає скорочення часу обробки при заданих чистоті і точності відтворення геометрії деталі.

Рекомендацією щодо підвищення продуктивності традиційного фрезерування є забезпечення максимально можливої глибини різання [16]. При використанні сучасного твердосплавного інструменту максимальна продуктивність обробки може бути досягнута в 2-х принципово різних режимах фрезерування. У першому, відповідно до традиційних рекомендацій, обробка

ведеться з підвищеною глибиною різання, що забезпечується інструментом зі змінними пластинами ($A_p=3-6$ мм). При цьому подача на зуб і відповідна хвилинна подача обмежується міцності інструменту і енергетичними можливостями приводу верстата.

Далі характерна зменшена глибина різання ($A_p=1-2$ мм), при збільшеною подачі на зуб. Виконане порівняння, стосовно високолегованої сталі (HRC=30-35), показало, що продуктивність для обох режимів приблизно однакова. Однак при високій глибині різання поломка пластин в процесі обробки (можлива в умовах дослідного виробництва, а також при нестабільній твердості заготовки) призводить до різкого збільшення навантаження на шпиндель, аж до ударної. Тому краще обробка з малою глибиною різання. Стосовно до напівчистої і чистої обробки з спільного розгляду інструменту зі змінними пластинами і монолітного твердосплавного визначено його раціональний склад і необхідна оснастка (патрони, цанги, подовжувальні оправлення), що забезпечують багатозонне обробку. При його виборі аналізувалися забезпечується продуктивність і точність обробки, а також витрати на технологічний процес. Приклад фінішної обробки важкодоступній зони фрезою на подовженій оправці показаний на рис. 2.5

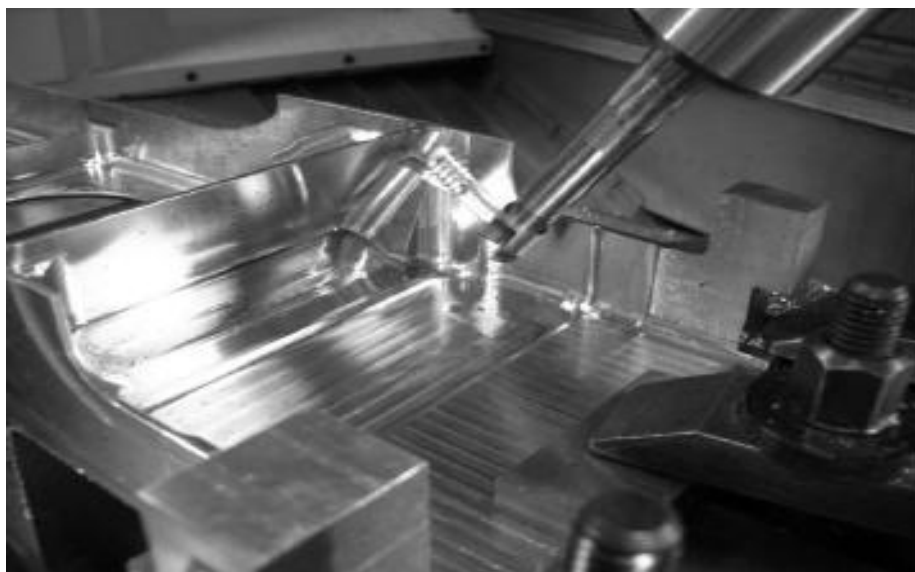


Рисунок 2.5 - Приклад фінішної обробки

Установка і кріплення заготовок.

Аналіз раціонального складу і характеристик технологічного обладнання для виготовлення розглянутих деталей [15] показав раціональність застосування 2-х типів верстатів. Перший тип – трьохосьовий з підвищеним крутним моментом шпинделя при швидкості обертання 1500-9000 об / хв. для проведення чорнової обробки. Другий тип – 5-ти осьовий з розташовуються швидкостями обертання шпинделя 12000-18000 об/хв. для напівчистої і чистої обробки. Кріпильна оснащення для чорнової обробки універсальна і гранично спрощена - верстатні лещата, притиски, упори. Застосування верстата з керуванням щодо 5-ти осей дозволяє істотно спростити необхідну для закріплення заготовок і деталей на завершальних етапах обробки технологічне оснащення. Поряд з кріпленням деталі її важливим функціональним призначенням стає розташування деталі в зоні обробки з максимальним по ракурсам доступом до неї інструменту при можливих поворотах шпинделя і столу. Переважний обсяг оснащення, як показує аналіз, може також становити універсальна. Вибір просторового розташування деталі найбільш ефективно виконується в графічній системі, в якій міститься як модель деталі, так і моделі настановних пристосувань.

Раціональне розміщення притисків.

Природним вимогою до розміщення притисків є мінімальне обмеження зони обробки. Так як дана вимога вельми умовно, необхідним стає спільне планування послідовності обробки, що виконується в керуючій програмі, де поряд з технологічним аналізом необхідно задоволення умов зменшення можливого викривлення і збереження жорсткості для максимальної протяжності обробки. Застосування високошвидкісного фрезерування для тонкостінних деталей обумовлює додаткову умову на розміщення притисків і опор. Воно пов'язане з власними частотними характеристиками закріпленої деталі (по зонам між кріпленнями) і їх інтерференцією з примушують частотами обробного інструменту.

Найважливішою складовою в розробці технологічного процесу стає розміщення опорних поверхонь та елементів на деталі по етапах технологічного процесу, а також планування операцій їх видалення. Оснащення сучасних верстатів вимірювальними головками дозволяє скоротити витрати часу на установку і базування деталі.

Програмне забезпечення.

Показником виробничої ефективності використання сучасного технологічного обладнання, ріжучого інструменту і оснастки є наявність комплексу засобів CAD/CAM [17]. Продуктивність механічної обробки висуває жорсткі вимоги щодо термінів виготовлення і безпомилковості керуючих програм. З нашого досвіду необхідною умовою стає розробка по вихідним математичним моделям деталей послідовності технологічних моделей, які супроводжують відповідні етапи обробки.

Розробки керуючих програм повинна дозволяти формувати траєкторії руху інструменту, що виключають виникнення нерівномірних, різко зростаючих або ударних навантажень для деталей складної форми. Для досвідченого і дрібносерійного виробництва характерно накопичення широкої номенклатури інструменту, пристосувань, оснастки. Також в умовах даного виробництва істотно ускладнено раціональне диспетчеризація і матеріально-технічне забезпечення. Велику складність також представляє оперативна оцінка трудомісткості і потреби в забезпеченні конкретних замовлень, гостро необхідна в сучасних умовах при роботі з замовниками. У зв'язку з цим експлуатовані кошти CAD/CAM для забезпечення загальної ефективності доповнюються зв'язаними програмними засобами управління і ресурсного планування.

3. НАБІР ТЕХНІЧНИХ І ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ І ПРОЦЕСІВ У ВЕРСТАТАХ З ЧПК

3.1 Програмно-апаратний комплекс

На сьогоднішній день обробка металів зі зняттям стружки є найважливішим способом формоутворення деталей в машинобудуванні. Однією з найбільш актуальних завдань в авіабудуванні є підвищення точності, надійності і продуктивності лезової обробки різанням. Через постійне підвищення вимог до якості оброблених поверхонь процес вдосконалення верстатного устаткування є перманентним.

Сучасний верстат являє єдине ціле з системою ЧПК (СЧПК), яка може бути наділена різними функціями. Верстат в сучасних умовах повинен бути забезпечений гнучкою і інтелектуальною системою управління, пов'язаною з системою управління виробництвом. Складність програмного забезпечення не є регламентує показником. У СЧПК можуть бути використані досить складні алгоритми управління, що враховують динамічні процеси, що відбуваються в системах верстата.

Для сучасного механообробного обладнання основною тенденцією в розвитку СЧПК є створення систем на базі персонального комп'ютера (ПК) [18, 19], що дозволяє використовувати весь арсенал обчислювальних і комунікаційних можливостей сучасної техніки.

При вирішенні завдань оптимізації процесів високошвидкісної обробки результати можуть істотно відрізнятися для різних екземплярів обладнання одного типу [19]. Створення спеціалізованих стендів для дослідження алгоритмів і процесів управління обладнанням може бути застосовано для дослідження обмеженого ряду проблем.[20]. Ця обставина визначає необхідність розробки програмно-апаратного комплексу (ПАК) для дослідження алгоритмів і процесів у верстатах з ЧПК, що забезпечує проведення досліджень безпосередньо на технологічному обладнанні.

Підвищення складності металорізального обладнання, застосування високошвидкісних технологій обробки, необхідність врахування динамічних процесів, що відбуваються в системах верстата, обумовлює необхідність проведення досліджень цих процесів як взагалі, так і на конкретних примірниках обладнання.

Для забезпечення аналізу алгоритмів управління, процесів в системах верстата і процес механічної обробки на металорізальних верстатах розроблений ПАК, інтегрований з СЧПК. Комплекс експлуатується в складі обладнання різних типів, таких як, токарний верстат 16K20Ф3, вертикально фрезерні верстати 6P13ГН1 і МА655СМ30А.

Програмно-апаратний комплекс має містити наступні вимоги.

Для проведення досліджень на реальному обладнанні найбільш раціональним є використання СЧПК в якості основи створюваного ПАК. Серед основних архітектурних варіантів сучасних СЧПК, представлених на ринку, переважають системи на базі ПК, що забезпечують гнучкий інтерфейс оператора і використання комунікаційних можливостей підключення до локальних і глобальних мереж [18, 19]. Найбільш перспективним є створення ПАК дослідження алгоритмів і процесів на основі інтеграції додаткового апаратного і програмного забезпечення в СЧПК на базі ПК.

Виконання технологічних процесів високошвидкісної обробки вимагає високих значень подач робочих органів верстата. Можливість реалізації процесу обробки залежить від точності підтримки контурній швидкості і точності позиціонування в процесі обробки. Для забезпечення точності завдання траєкторії не гірше 10^{-3} мм, при подачах близько 5000 мм/хв необхідно застосовувати СЧПК з частотою циклу не менше 1000 Гц. В сучасних СЧПК, які забезпечують управління на подачах до 60000 мм/хв, реалізується цикл управління з частотою до 2500 Гц [21]. Технічні рішення по організації архітектури СЧПК і системи дослідження алгоритмів і процесів повинні забезпечувати високу частоту керуючого циклу при управлінні обладнанням.

Архітектура СЧПК на прикладному рівні визначається кількістю і складом прикладних розділів, званих завданнями управління [22]. Програмно-апаратні засоби системи повинні забезпечувати отримання і збереження інформації про виконання алгоритмів таких завдань. як геометрична (орієнтується на управління стежать приводами); логічна (організовує управління); технологічна (гарантує підтримку або оптимізацію параметрів технологічного процесу); диспетчеризація (забезпечує управління іншими завданнями на прикладному рівні); термінальна (підтримує діалог з оператором, відображення станів системи, редагування і верифікацію керуючих програм); комунікаційна (забезпечує обмін інформацією з системою управління підприємством)..

Режим реального часу має особливості реалізації. Це треба враховувати при побудові СЧПК на базі ПК . Під поняттям реального часу мають на увазі, що поведінка обчислювальної системи передбачувано і час, витрачений на певну процедуру, не перевищує заздалегідь встановленого обмеження [13]. Це означає, що на виконання одного і того ж дії обчислювальна система може витрачати час, тривалість якого залежить від різних обставин, але знаходиться в певних межах. ПАС для дослідження алгоритмів і процесів повинен забезпечувати можливість вимірювання реальної тривалості процесів, що відбуваються в СЧПК.

Цю задачу не вирішити за рахунок внутрішнього таймеру обчислювальної системи. СЧПК здійснює контроль великої кількості параметрів, але для аналізу технологічного процесу або інших процесів, що відбуваються в обладнанні, може знадобитися реєстрація різних сигналів і даних зовнішньої апаратури. Для полегшення аналізу даних необхідно мати можливість управляти протоколами зовнішніми вимірювальними пристроями синхронно з реєстрацій даних усередині системи.

Збір даних повинен виконувати тільки запис даних, тому що процес збору та реєстрації даних здійснюється паралельно з процесом управління обладнанням і не повинен впливати на нього. Обробку та аналіз необхідно

здійснювати після завершення експерименту з використанням спеціалізованих програмних засобів і пакетів, наприклад, Excel, Mathcad.

3.2 Апаратна частина комплексу

Завдання управління в апаратній частині комплексу розділені між двома ПК, об'єднаними в локальну мережу (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 - Структура апаратного забезпечення СЧПК і ПАК для дослідження алгоритмів і процесів

Верхній рівень (ВР) являє собою ПК, що функціонує під операційною системою Windows. Він виконує термінальну, комунікаційну та, частково, технологічну завдання управління. Нижній рівень (НР) СЧПК є ПК, в системну

магістраль якого підключені спеціалізовані пристрої сполучення: модулі введення-виведення дискретних сигналів, інтерфейси стежать приводів, інтерфейси датчиків зворотного зв'язку (ДЗЗ). Нижній рівень функціонує під операційною системою реального часу і забезпечує виконання диспетчеризації, геометричній та технологічній завдань.

Для організації системи реєстрації більшої кількості даних з пристроїв сполучення і внутрішніх змінних програмного забезпечення (ПЗ) СЧПК найкращим чином підходить магістральна організація обміну даними між пристроями сполучення і процесорним модулем, бо вона забезпечує найбільшу продуктивність і високу надійність обміну даними.

Апаратне забезпечення розробленого комплексу повністю включає в себе апаратне забезпечення СЧПК з додатковим підключенням в системну магістраль спеціальних модулів: вимірювання реального часу, аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) і управління зовнішньої апаратурою, наприклад, цифровим запам'ятовуючим осцилографом.

Тому дослідницьким стендом можна вважати будь-який верстат або технологічне обладнання, оснащене СЧПК з розширенням апаратної частини.

З розглянутого видно, що проведення технологічного експерименту на реальному верстаті, а не на його стендовій імітації дозволяє отримувати найбільш достовірні і цінні результати.

3.3 Програмна частина комплексу

Організація програмного забезпечення комплексу базується на структурі ПЗ СЧПК. ПЗ ВР складається з двох підсистем: підсистеми управління процесом реєстрації даних і підсистеми обробки даних. Управління процесом реєстрації уніфіковано з керуванням технологічним обладнанням і

здійснюється за допомогою команд, що передаються по локальній мережі СЧПК на машину НР.ПЗ ВР розроблено в Microsoft Visual C++

Структура ПЗ НР відповідає структурі ПЗ СЧПК (рис. 3.2). Підсистема обробки даних дозволяє візуалізувати будь-який набір зареєстрованих даних одного або декількох експериментів, провести перетворення даних, обчислити амплітуди-частотну характеристику і виконати експорт даних в Excel, Mathcad і інші пакети.

Керування окремими пристроями верстата здійснюється програмно реалізованими автоматами логічних пристроїв.

Додавання в систему спеціальних інтерфейсів комплексу не порушує загальної структури ПЗ. Ядро управління забезпечує взаємодію пристроїв через розсилку команд і повідомлень контролерам по внутрішній віртуальній мережі. Обмін даними з фізичними інтерфейсами здійснюється з перетворенням до адресного простору віртуальних контролерів. Обмін даними з додатковими інтерфейсами здійснюється аналогічно обміну даними з інтерфейсами СЧПК. Спеціально для комплексу розроблений модуль управління збереженням даних.

Модуль управління збереженням даних забезпечує два режими: режим «Реєстрація параметрів» і режим «Аварійне збереження параметрів». Модуль управляється ядром і отримує дані від логічних пристроїв.

Реєстрація даних виконується на кожному такті роботи системи. Час безперервної реєстрації складає не менше 60 секунд. В режимі «реєстрації параметрів» ініціалізація і завершення збереження даних виконується по команді, переданої з ВР на НР. Для кожної керованої координати може реєструватися до 300 змінних. Набір даних визначається при конфігуруванні системи. Конфігурація даних, збережених в конкретному файлі експерименту, описується в заголовку файлу, що дозволяє виробляти подальшу обробку для обладнання різної конфігурації. Режим використовується для проведення дослідження алгоритмів і різних процесів в технологічному обладнанні.



Рисунок 3.2 - Схема структури програмного забезпечення СЧПК і ПАК для дослідження алгоритмів і процесів

При виникненні аварійних ситуацій, таких як відмова приводів подачі, шпинделя, гідростанції або інших критичних систем, відбувається вимикання харчування верстата і збереження даних про роботу системи за час не менше 40 секунд, що передують відмови. Режим «аварійного збереження параметрів» активізує збереження даних при збої в роботі систем верстата. Режим використовується для налагодження алгоритмів управління пристроями і діагностики відмов.

3.4 Аналіз алгоритмів і процесів

ПАК дозволяє отримати інформацію про будь-які дані в СЧПК і проводити реєстрацію даних про технологічні процеси і процеси в системах верстата. Комплекс дозволяє проводити дослідження і оптимізацію алгоритмів СЧПК по всіх завдань управління.

Наведемо кілька прикладів застосування комплексу. При узгодженні СЧПК з верстатом виконується розробка і налагодження алгоритмів взаємодії різних частин програмно-апаратного забезпечення (див. рис. 3.2). Ця взаємодія можна показати на прикладі тестування алгоритму покрокового переміщення при управлінні з пульта оператора. Сигнал натискання кнопки «X+» надходить через модуль введення дискретних сигналів і обробляється алгоритмом логічного пристрою «Пульт Оператора». Перемикається на задану величину виконується при певному положенні перемикачів режимів на пульті оператора, що задає необхідний стан логічного пристрою. За запитом логічного пристрою ядро управління ініціює режим переміщення на величину заданого кроку (змінна PP).

Модуль інтерполяції по команді ядра (змінна RC) ініціює виконання програми переміщення на задану відстань (змінна IG). Інтерполяційні дані заданої швидкості (VX) і положенні ($X_{\text{зад}}$) надходять в логічний пристрій «Координата X». Управління координатою здійснюється через інтерфейс слідкуючого приводу. Інформація про фактичний стан ($X_{\text{факт}}$) надходить в систему від пристрою сполучення «ДЗЗ». Відповідність заданого і фактичного положення контролюється програмно реалізованим регулятором в логічному пристрої «Координата X». Підсистема реєстрації параметрів дозволяє в кожному такті управління для розглянутого циклу фіксувати до 300 змінних, що дозволяє проводити аналіз і оптимізацію алгоритмів кожній із частин системи.

Керуюча програма задає траєкторію руху інструменту. Подача в програмі задається технологом виходячи з умов забезпечення режимів різання, а можливість забезпечення заданого швидкісного режиму покладається на СЧПК. Виконання високошвидкісної обробки неможливо без реалізації в СЧПК алгоритмів прогнозування та оптимізації швидкості переміщення робочих органів.

В тексті програми наведеного прикладу задана подача (F) 6000 мм/хв, що перевищує динамічні можливості тестованого верстата. При виконанні програми із застосуванням алгоритму прогнозування подачі зафіксована діаграма зміни контурній швидкості (F_n) по довжині кадру. Помилка алгоритму, що приводить до появи зламу в діаграмі подачі в кадри N5, N7, усунена.

Використання програмно-реалізованого регулятора в контурі управління дозволяє проводити дослідження різних типів регуляторів. Можливість збереження інформації про процес управління стежить приводом дозволяє здійснювати настройку коефіцієнтів регулятора по формалізованій методикою, а не за суб'єктивними відчуттями наладчика.

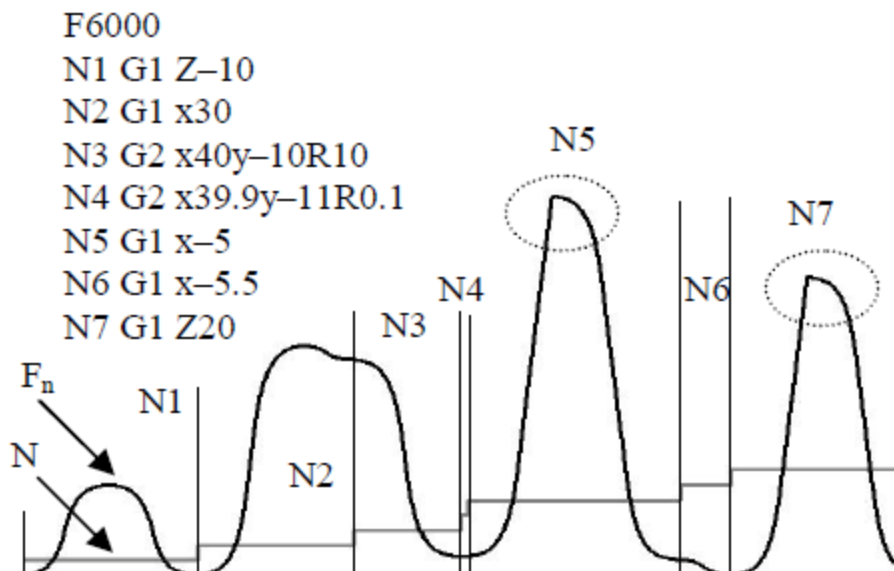


Рисунок 3.3 – Результат тестування алгоритму оптимізації подачі

Робота регулятора безпосередньо визначає величини динамічних похибок позиціювання, що виникають при русі робочих органів за програмою. На рис. 3.3 наведено графік зміни помилки позиціонування шпиндельної бабки верстата MA655CM30A, отриманий при переміщенні на подачі 5500 мм/хв. Для управління координатою застосований пропорційний регулятор з попереднім завданням по швидкості. У сталому режимі руху отримана помилка позиціонування +2...-16 мкм, максимальна помилка на ділянці розгону склала +20...-25 мкм, а на ділянці гальмування – 44 мкм.

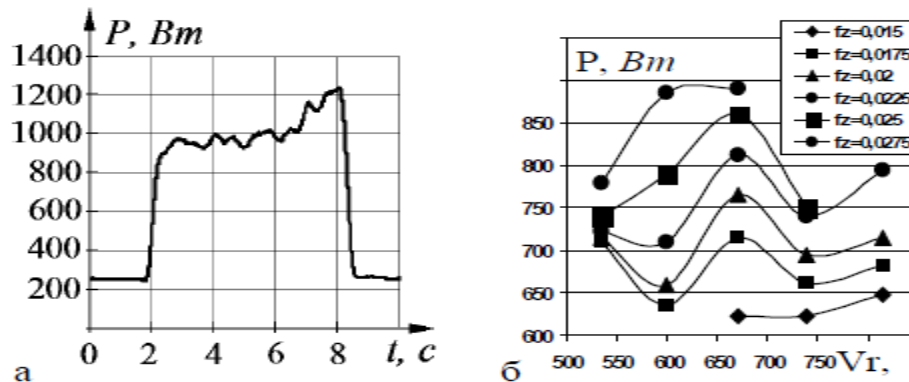
Одним з основних критеріїв оцінки ефективності технологічного процесу є енергоємність процесу різання. Визначення потужності різання по електричним параметрам шпинделя в процесі обробки деталей (рис.3.4,а) дозволяє за даними серії експериментів здійснювати оцінку енергоємності зняття матеріалу в залежності від різних параметрів технологічного процесу (рис. 3.4,б). Дані, що реєструються ПАК, придатні для проведення технологічних експериментів. Розробка алгоритмів управління обладнанням з урахуванням енергетичних характеристик технологічного процесу є окремим завданням, вирішення якої можливе з застосуванням ПАК.

Можливі коливання в металорізальних верстатах впливають на точність і якість оброблюваних поверхонь, довговічність інструменту і елементів конструкції верстата (напрямних, підшипників), що визначають точність обробки.

Одним з методів дослідження вібрацій є аналіз акустичного прояви коливань у вигляді шуму [20]. Акустичне випромінювання при механічній обробці містить в собі сигнали процесу різання, працюючого двигуна, що обертається шпинделя і т.п. Кожен процес викликає коливання у вузькій смузі частот, амплітуда якого характеризує процес. Збіг частот цих коливань з власними частотами коливань системи призведе до резонансу.

Спостереження акустичних коливань в процесі фрезерування зразків з Д16Т, проведені на верстаті MA655CM30 з використанням швидкісного шпинделя на базі колекторного двигуна потужністю 1,8 кВт. Шпиндель

забезпечує регулювання оборотів в діапазоні від 2500 до 23000 об/хв. Проведені дослідження дозволили визначити резонансну характеристику системи і складові спектра коливань в різних режимах роботи для конкретного верстата.



а - потужність (P) при обробці зразка; б - потужність (P) від швидкості різання ;
 f_z - подача на зуб

Рисунок 3.4 - Вимірювання потужності різання

Резонансна характеристика відображає прояви власних коливань в декількох діапазонах частот. У міру збільшення частоти обертання шпинделя ($n_{Ш}$) та чи інша гармоніка збігається з власними частотами.

Дослідження спектру коливань показало, що найбільш чутливі до резонансу 1, 2, 6 і 8 гармоніки. Так, при $n_{Ш} = 9000 \dots 10000$ об/хв спостерігається посилення коливань на другій гармоніці, при $n_{Ш} = 15500 \dots 17500$ об/хв збільшуються коливання на основній частоті та восьмий гармоніці, при $n_{Ш} > 20000$ об/хв в діапазоні резонансу виявляються шоста і восьма гармоніки. Зазначені частоти обертання шпинделя є небажаними для використання в процесі обробки.

Дослідження та розробка методик і алгоритмів обліку вібрацій в процесі обробки становить інтерес для практичного застосування у виробництві і вимагає подальшого розвинення.

ВИСНОВКИ

Ефективності механічної обробки в авіабудуванні підвищується при застосуванні технології високошвидкісної обробки. Ефективність процесу високошвидкісної обробки залежить від параметрів окремих одиниць обладнання. Це приводить до необхідності проведення досліджень алгоритмів і процесів у верстатах з ЧПК на реальному обладнанні. Розроблено програмно-апаратний комплекс, інтегрований з системою ЧПК на базі персонального комп'ютера, що дозволяє реєструвати дані про процеси в технологічному обладнанні та внутрішніх змінних системи ЧПК з частотою керуючого циклу системи ЧПК.

В роботі показано застосування комплексу при розробці алгоритму керування обладнанням при покроковому переміщенні від пульта оператора, алгоритму прогнозування подачі, оптимізації програмно-реалізованого регулятора, дослідженні енергоспоживання і вібрації при високошвидкісному фрезеруванні.

Найбільш оптимальною системою для створення керуючої програми для обробки великогабаритних деталей на верстатах з ЧПК є система SprutCAM. Простота управління режимами роботи проводиться вибором відповідних закладок на панелі головного вікна системи (3D Модель, 2D Геометрія, Технологія, Моделювання). При створенні керуючої програми час простою може бути значно скорочено. Крім того, SprutCAM забезпечує повний контроль заготовки. Результат обробки доступний відразу ж після створення траєкторії інструменту, навіть без моделювання. У режимі моделювання є можливість контролювати повну 3D-модель верстата і контроль зіткнень. Тож, цей програмний продукт найбільш доцільно застосовувати для генерації керуючих програм на поширені системи ЧПК з корекцією наявних файлів настройки та створення нових в інваріантному постпроцесорі.

Багатотипний набір технологічних операцій і функції управління їх параметрами дозволяють формувати оптимальні процеси виготовлення деталей різних видів. Контроль отриманої траєкторії руху інструменту проводиться у вбудованому середовищі моделювання обробки.

Досліджено ПАК, інтегрований з СЧПК на базі ПК. Комплекс дозволяє проводити реєстрацію даних про процес механічної обробки, процесах в системах технологічного обладнання та внутрішніх змінних СЧПК з частотою керуючого циклу. Реєстрація даних зовнішньої вимірювальною апаратурою управляється комплексом і синхронізується з циклом управління. Наведено застосування комплексу при розробці алгоритму управління обладнанням при покроковому переміщенні від пульта оператора, алгоритму прогнозування подачі, досліджені енергоспоживання і вібрацій при високошвидкісному фрезеруванні. Визначено перспективність застосування ПАК при проведенні досліджень і розробки методик і алгоритмів обліку енергоспоживання і вібрацій в процесі обробки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Заєць С.С., Максимчук І.В., Педько К.О. Науковий вісник КУЕІТУ: Кременчуг, 2012(2). 92с.
2. Онкалюк О.І., Муха Р.Ю., Заєць С.С. Методи підвищення якості і продуктивності обробки деталі на багатоцільових верстатах. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: Луцьк, 2016. 86с.
3. ДСТУ ГОСТ EN 12478:2008. Верстати великі з числовим програмним керуванням великі токарні оброблювальні центри. [Чинний від 2008-04-22]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2009.
4. ДСТУ EN 13788:2008. Металообробчі верстати. Безпека. Верстати токарні багатошпіндельні автоматичні. [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2012.
5. ДСТУ EN ISO 23125:2018. Верстати. Безпечність. Верстати токарні. [Чинний від 2020-01-01].
6. Агєєнко А.В. Методика налаштування параметрів УЧПК токарних верстатів для забезпечення заданої точності контура деталі / А.В. Агєєнко // Фундаментальні та прикладні проблеми техніки і технології, 2011. 120 с.
7. Базров Б.М. Розрахунки точності машин на ЭВМ / Б.М. Базров. -М.: Машинобудування, 1984. 256 с.
8. Базров Б.М. Основи технології машинобудування / Б.М. Базров. М.: Машинобудування, 2005. 736 с.
9. Бржозовский Б.М. Діагностика і надійність автоматизованих систем / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартинов. М.: ТНТ, 2010. 380 с.
10. Демідов С.В. Електромеханічні системи управління важкими металорізальними верстатами / С.А. Демідов, А.М. Авдушев // Л.: Машинобудування, 1986. 236 с.
11. Синєокий Т.В. Огляд CAD/CAM/CAE-систем / Т.В. Синєокий // САПР і графіка, 2002. 39 с.

12. Казаков А.А. ADEM – CAD/CAM-інтеграція високого рівня / А.Казаков, А. Красильников // САПР і графіка, 2003. 44 с.
13. Сосонкін В.Л. Системи числового програмного управління : навч. посібник / В.Л. Сосонкін, Г.М. Мартинов. – Х., 2005. 296 с.
14. Соломєнцев Ю.Н., Мітрофанов В.Г. Павлов В.В., Рібаков А.В. Інформаційно-обчислювальні системи в машинобудуванні (CALS-технології). – М.: Наука, 2003. 292 с.
15. Вермель В.Д., Зиняєв В.В. Высокошвидкісна фрезерна обробка у виробництві технологічного оснащення // САПР і графіка, 2005. 59 с.
16. Блюмберг В.А., Зазерський Є.І. Довідник фрезерувальника. – Л.: Машинобудування, 1984. 288 с.
17. Вермель В.Д. Програмно-технічні засоби систем автоматизованого проектування . Літаки та гвинтокрили. – М.: Машинобудування, 2002. 864 с.
18. Сосонкін В.Л. Концепція числового програмного управління мехатронними системами: методологічні аспекти побудування відкритих систем ЧПК / В.Л. Сосонкін, Г.М. Мартинов // Мехатроніка, автоматизація, управління, 2002. 11 с.
19. Букрєєв В.Г. Програмно-апаратний комплекс для дослідження алгоритмів інтерполяції траєкторій руху багатокоординатних електроприводів / В.Г. Букрєєв, Н.В. Гусєв, М.В. Коваленко // Сучасні технології автоматизації, 2007. 54 с.
20. Петраков Ю.В. Методи усунення вібрацій при обробленні різанням. / Ю.В.Петраков. URL : <https://conf.rtu.edu/ua>
21. Комбаров В.В. Дослідження впливу частоти циклу управління системи ЧПК на точність обробки / В.В. Комбаров, Є.В. Комбарова, Є.А. Аксьонов // Вісник двигунобудування, 2009. 148 с.
22. Бережна М.А. Комп'ютерні технології автоматизованого виробництва. Навч.посібник /М.А. Бережна.- Харків: ТОВ “ Компанія СМІТ”, 2007. 368 с.