

І. В. Севостьянов

**ЕКСПЛУАТАЦІЯ ВЕРСТАТНИХ  
КОМПЛЕКСІВ**

Ч. I

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

І. В. Севостьянов

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ВЕРСТАТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Ч.І

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів напряму підготовки 0902 – “Інженерна механіка” та спеціальності інженерії 7.090203 – “Металорізальні верстати та системи”. Протокол №4 від 25 листопада 2004 р.

Вінниця ВНТУ 2005

УДК 621 9.06-52  
С 28

*Рецензенти:*

**І. О. Сивак**, доктор технічних наук професор  
**П. С. Берник**, доктор технічних наук професор  
**Ю. І. Муляр**, кандидат технічних наук доцент

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

**Севостьянов І. В.**

С 28 **Експлуатація верстатних комплексів.** Навчальний посібник. Ч. І. –  
Вінниця: ВНТУ, 2005. – 125 с.

У посібнику розглядаються матеріали перших дев'яти тем курсу лекцій з дисципліни „Експлуатація верстатних комплексів” і зокрема, загальна послідовність введення верстатів у експлуатаційний режим, схеми установавання їх на фундамент, методика випробовувань та заходи щодо організації проведення налагоджувальних робіт, вимоги та рекомендації щодо монтажу, налагодження та експлуатації, гідро-, пневмо- та електроприводів верстатних комплексів, методи їх технічної діагностики, критерії оцінювання стану вузлів та механізмів, засоби активного контролю точності обробки на верстатах та самоналагоджувальні контрольні системи.

УДК 621 9.06-52

© І.Севостьянов, 2005

## Зміст

Позначення.....	5
Вступ.....	6
1. Загальна послідовність введення верстатних комплексів у експлуатаційний режим.....	7
2. Установлення верстатних комплексів на фундамент.....	12
3. Випробування верстатних комплексів.....	20
3.1. Перевірка якості виготовлення верстатів. Випробування верстатів на холостому ходу та під навантаженням.....	20
3.2. Перевірка геометричної точності верстатів.....	20
3.3. Перевірка кінематичної точності верстатів.....	22
3.4. Випробування на жорсткість та вібростійкість.....	23
3.5. Перевірка верстатів на шум.....	25
4. Організація та проведення налагодження, регулювання та настройки верстатних комплексів.....	27
4.1. Налагодження.....	27
4.2. Регулювання.....	31
4.3. Настройка.....	35
4.4. Налагодження та установлення ріжучого інструмента.....	37
4.4.1. Налагодження ріжучого інструмента на розмір.....	37
4.4.2. Карта налагодження. Корегування положення ріжучого інструмента.....	44
4.4.3. Системи інструментозабезпечення.....	48
4.5. Настройка режимів роботи верстатів з ЧПК.....	51
4.6. Перевірка та відпрацьовування нової програми керування.....	54
4.7. Пробна обробка деталі. Остаточне корегування програми керування.....	58
4.8. Організація та проведення налагоджувальних робіт.....	64
5. Монтаж, налагодження та експлуатація гідро- і пневмоприводів верстатних комплексів.....	70
5.1. Вимоги, що висуваються до гідро- і пневмоприводів.....	70
5.2. Монтаж гідро- і пневмоприводів.....	74
5.3. Налагодження гідро- і пневмоприводів.....	76
5.3.1. Рекомендації з налагодження гідромашин та гідроапаратури.....	79
5.4. Експлуатація гідро- та пневмоприводів.....	80
6. Монтаж, налагодження та експлуатація електроприводів та електропристроїв верстатних комплексів.....	82
6.1. Загальні відомості з монтажу електроприводів та електропристроїв.....	82
6.2. Загальні відомості з налагодження електроприводів та електропристроїв.....	82
6.2.1. Перевірка електродвигунів постійного струму.....	83
6.2.2. Перевірка трифазних асинхронних електродвигунів.....	83

6.3. Експлуатація електроприводів та електропристроїв. Безпека праці.....	84
7. Діагностика верстатних комплексів.....	86
7.1. Мета і задачі технічної діагностики.....	86
7.2. Сучасні методи технічної діагностики.....	86
7.3. Критерії оцінювання стану вузлів та механізмів верстатних комплексів.....	89
7.4. Діагностика ріжучого інструмента.....	91
8. Застосування засобів активного контролю та керування верстатними комплексами в процесі їх експлуатації.....	94
8.1. Класифікація засобів активного контролю.....	94
8.2. Загальна структура засобів активного контролю та вимоги до них.....	97
8.3. Пристрої для контролю розмірів у процесі виконання технологічних операцій.....	99
8.4. Деякі аспекти адаптивного керування верстатами.....	101
9. Самоналагоджувальні контрольні системи.....	106
9.1. Класифікація та характер роботи систем.....	106
9.2. Структурні схеми самоналагоджувальних систем контролю.....	108
9.3. Приклади реалізації самоналагоджувальних систем контролю....	110
9.4. Перспективи підвищення точності верстатних комплексів, розвиток засобів її оцінювання та керування.....	119
Література.....	124

## Позначення

АЛ – автоматична лінія;  
ГВС – гнучка виробнича система;  
ЗОР – змащено-охолоджувальна рідина;  
ПК – програмоконтролер;  
ПР – промисловий робот;  
ПЧПК – пристрій числового програмного керування;  
РМЦ – ремонтно-механічний цех;  
ТУ – технічні умови;  
ЧПК – числове програмне керування.

## Вступ

Навчальний посібник включає матеріали першої частини лекційного курсу дисципліни „Експлуатація верстатних комплексів”, що вивчається на п'ятому курсі студентами напряму підготовки „Інженерна механіка”, спеціальності 7.090203 – „Металорізальні верстати та системи” денної форми навчання. Зміст посібника відповідає робочому плану, навчальній та робочій навчальній програмам вказаної дисципліни, метою якої є оволодіння основними знаннями та навичками, необхідними для інженерної підготовки технологічного обладнання до раціональної ефективної експлуатації, з врахуванням його класифікаційних ознак (групи, типу, типорозміру, класу точності, категорії маси, ступеня автоматизації, рівня спеціалізації) при умові забезпечення заданих параметрів продуктивності та точності.

У посібнику наведені основні відомості перших дев'яти тем курсу лекцій. Зокрема, розглядаються загальна послідовність введення верстатів у експлуатаційний режим, схеми установаження їх на фундамент, методика випробовувань та заходи щодо організації проведення налагоджувальних робіт, вимоги та рекомендації стосовно монтажу, налагодження та експлуатації, гідро-, пневмо- та електроприводів верстатних комплексів, методи їх технічної діагностики, критерії оцінювання стану вузлів та механізмів, засоби активного контролю точності обробки на верстатах та самоналагоджувальні контрольні системи.

Знання, вміння та навички, що майбутні спеціалісти отримують на заняттях з дисципліни „Експлуатація верстатних комплексів” будуть корисними при визначенні організаційно-технічних заходів з підготовки до експлуатації та експлуатації верстатного обладнання та автоматичних ліній різного призначення, точності та складності, реалізація яких забезпечить збереження протягом установленого терміну точності та продуктивності верстатів. В курсі продовжена тематика курсу „Експлуатація та обслуговування машин”, поглиблені та доповнені відомості, що вивчались в курсах дисциплін „Металорізальні верстати та верстатні комплекси”, „Приводи верстатів та роботів”, „Ріжучий інструмент”, „Технологія машинобудування”, „Електроніка та мікропроцесорна техніка”, „Гідравліка та гідропневмопривод”, „Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання”.

## 1. Загальна послідовність введення верстатних комплексів у експлуатаційний режим

Процес підготовки верстатного комплексу до експлуатації на виробництві незалежно від його призначення включає етапи монтажу та налагодження.

Нижче представлена загальна послідовність робіт з монтажу автоматичних ліній (АЛ) та гнучких виробничих систем (ГВС), що відносяться до обладнання найвищого ступеня автоматизації та конструктивної складності, у зв'язку з чим наведену послідовність можна використовувати як універсальну методику при підготовці до експлуатації верстатних комплексів з ручним керуванням, з ЧПК та напівавтоматів. Слід однак врахувати, що залежно від конкретних умов монтажу перелік операцій може вимагати уточнень як за обсягом, так і за послідовністю їх виконання.

Послідовність монтажу включає такі основні операції.

1. Підготовка приміщення для монтажу на заводі-споживачі. Перш ніж почати монтувати АЛ або ГВС замовнику необхідно закінчити всі будівельні та санітарно-технічні роботи, в тому числі: підготувати фундамент для встановлення обладнання відповідно до вимог технічної документації; нанести на колонах цеху їх номери, а також базові відмітки (плашки та репери); виконати в підлозі цеху канали для розташування конвеєра, що забезпечує збирання та видалення стружки; встановити транспортні підстанції та розподільні щити; підвести від централізованих установок та випробувати цехові магістральні комунікації електро- та повітропостачання, подачі води, газу, ЗОР, що забезпечують нормальне функціонування обладнання; змонтувати та пустити в роботу підйомно-транспортні засоби необхідної вантажопідйомності для монтажу та експлуатації обладнання.

2. В раніше підготовлених каналах підлоги цеху монтують конвеєри для збирання та видалення стружки; за допомогою тимчасової підводки вмикають приводи конвеєрів у електромережу; проводять обкатку та випробовування конвеєрів у роботі; усувають виявлені недоліки.

3. Завозять обладнання АЛ (ГВС) та встановлюють його на загальній бетонному полотні підлоги цеху або на індивідуальних фундаментах, підготовлених раніше відповідно до вимог установлювальних креслень, з урахуванням прив'язки до попередньо нанесених на колонах цеху бокових позначок. При цьому спочатку завозять та монтують основне металообробне та інше технологічне обладнання, а лише потім – допоміжне обладнання: промислові роботи (ПР), контрольні пристрої, магазини - накопичувачі, стелажі, транспортні пристрої тощо. В останню чергу встановлюють допоміжне обладнання, що не потребує точної прив'язки до АЛ (ГВС), в тому числі: гідрообладнання (насосні установки гідроприводів та централізованої подачі мастила); електрообладнання (генератори постійного струму, шафи та пульти керування), короби



трубопроводів централізованої подачі ЗОР, стисненого повітря, води, газу; оснащення робочих місць обслуговуючого персоналу (інструментальні шафи, стелажі, столи тощо). Послідовність монтажу обладнання АЛ (ГВС) на заводі-виробнику та на заводі-споживачі в основному однакова. Спочатку складають та за необхідністю випробовують усі комплектуючі агрегати та вузли, які надходять з інших цехів заводу та інших підприємств. У послідовності, що описана у відповідному керівництві або інструкції розконсервують верстат. Перевіряють стан трубопроводів систем гідро- та пневмоприводів, змащення, подачі ЗОР; усувають сплющення та ум'ятини трубопроводів; установлюють відсутні скоби; перевіряють стан поверхонь тертя.

4. З використанням гасу та технічних серветок ретельно видаляють з поверхонь обладнання антикорозійні змащувальні матеріали.

5. Підготовлені до монтажу трубопроводи гідро- і пневмосистем очищують від бруду, промивають гасом, після чого прокачують по них на спеціальній установці під заданим тиском робоче середовище.

6. За допомогою вимірювальних пристроїв та регульовальних елементів вивіряють положення обладнання за висотою (від чистої підлоги) в повздовжній та в поперечних площинах; у попередньо виконані в фундаментах отвори заводять фундаментні болти та заливають їх рідким цементним розчином; до каркасів блокових фундаментів приварюють опорні пластини та установлюють кріпильні болти. Після затвердіння розчину та перевірки надійності приварювання пластин затягують кріпильні болти та гайки. При необхідності заливають станину цементним розчином.

7. Змащують всі рухомі вузли та механізми згідно із картами та схемами змащення обладнання.

8. З'єднують трубопроводи гідро- та пневмосистем, пристроїв подачі ЗОР, води, газу з машинами та апаратами обладнання; заливають в гідросистему через фільтр робочу рідину, випускають з неї нерозчинене повітря; опресовують гідро- та пневмосистеми на тиск, вказаний у кресленнях, при цьому вихід масла, ЗОР, води, повітря або іншого робочого середовища не допускається (наявність витоків рідини встановлюють візуально, а витоків повітря та газу - змочуючи мильною водою місця з'єднань).

9. Перевіряють правильність монтажу трубопроводів гідро- та пневмосистем в роботі.

10. Після монтажу трубопроводів систем подачі ЗОР перевіряють безперебійність надходження останньої до всього ріжучого та абразивного інструмента в заданих кількостях та під потрібним тиском. Впевнюються у виконанні таких вимог: трубопроводи та крани систем подачі ЗОР не повинні заважати доступу до оброблюваної заготовки та інструмента; всі горизонтальні ділянки напірних трубопроводів повинні мати нахил 1:500 у бік бака для забезпечення витікання з них робочої рідини на етапах

відключення подачі ЗОР; для проведення періодичного очищення трубопроводів в них необхідно передбачити отвори, що мають закриватись пробками.

11. Виконують верхній монтаж електропроводки, що з'єднує шафи електроживлення та керування обладнанням. Для цього зібрану в джгути електропроводку, ізоляцію якої попередньо змащують солідолом, заводять в трубопроводи, кінці дротів з'єднують із затискачами електроапаратури, після чого правильність з'єднання перевіряється прозвонюванням; станини та інші базові елементи обладнання АЛ (ГВС) з'єднують із загальною заземленою шиною цеху.

12. Перевіряють відповідність установлення верстатів нормам точності, що вказані в їх паспортах; в разі необхідності усувають виявлені відхилення.

13. Короткочасним натисканням на кнопки „Пуск” перевіряють правильність напрямку обертання валів електродвигунів приводів, а також безвідмовність ввімкнення кнопок керування на пультах.

14. Проводять обкатку обладнання на холостому ході; усувають виявлені при цьому недоліки та відпрацьовують рекомендації для подальшого налагодження.

Для проведення монтажних робіт необхідно мати установлювальні (фундаментні) креслення АЛ (ГВС), вимірювальні прилади для вивірення правильності установлення обладнання (контрольні лінійки, металеві рулетки, кутники, рівні тощо).

Роботи з налагодження заблокованої АЛ (ГВС), що керується від програмоконтролера (ПК) здійснюються у такому порядку.

1. Готують обладнання до початкового пуску; вивчають ”Керівництво з налагодження обладнання” та іншу технічну документацію.

2. Вмикають програматор до ПК; готують до пуску систему керування; перевіряють за тестами працездатність ПК (виконує інженер-електронік).

3. Перевіряють у стоп-режимі функціонування ПК, правильність та надійність з'єднання модулів введення і виведення з відповідними апаратами АЛ - датчиками, кнопками керування, виконавчими елементами тощо (виконує наладчик-електрик), встановлюють огорожу, що обмежує доступ до рухомих частин обладнання та перевіряють дотримання інших вимог безпеки праці.

4. Вводять через програматор у постійну або оперативну пам'ять ПК програму із зовнішнього носія (касети, дискети, стрічки, карток) або перевіряють програми, що вже знаходяться у пам'яті ПК (виконує наладчик-електронік).

5. Готують до пуску та перевіряють роботу систем гідро- та пневмоприводів, подачі ЗОР, змащення: при короткочасному натисканні на пускові кнопки переконуються у правильності напрямку обертання електродвигунів приводів; перевіряють стан фільтрів та при необхідності

очищують або замінюють елементи фільтрування; настроюють запобіжні клапани, дроселі, регулятори витрат, дільники потоку, системи блокувань; перевіряють роботу гідро- та пневмосистем на холостому ходу, під навантаженням і в роботі в автоматичному режимі (виконують разом з налагоджувачами-електроніками).

6. Готують до пуску та перевіряють функціонування систем електрообладнання: контролюють роботу та основні параметри електродвигунів; виконують всі необхідні операції із дотримання вимог безпеки праці та пуску системи електрообладнання (виконує налагоджувач-електрик).

7. Проводять налагодження роботи вузлів на холостому ходу: згідно із картою налагодження розставляють електричні, гідравлічні та пневматичні упори керування; здійснюють обкатку кожного вузла протягом 10...15 хв в ручному та автоматичному режимі; перевіряють зазори в напрямних супортів, повзунів, столів тощо (допускається закушування щупу товщиною 0,02 мм з торців напрямних на довжині 25 мм, виконавчі елементи повинні переміщуватись плавно без заїдань і ривків); здійснюють 15...20 холостих ходів виконавчих елементів при керуванні з пульта, перевіряють швидкість робочих переміщень; при необхідності корегують керуючу програму ПК (виконує налагоджувач-електронік).

8. Виконують налагодження транспортно-завантажувальних пристроїв: устанавлюють виконавчі елементи пристроїв у вихідні для початку роботи положення; закріплюють у граничних точках траєкторії їх руху електричні, гідравлічні та пневматичні упори керування, регулюють довжину ходів виконавчих елементів та час їх переміщень; проводять налагодження пристроїв за заготовками або еталонними деталями.

9. Здійснюють налагодження автоматичних контрольних приладів та пристроїв.

10. Виконують налагодження основного обладнання в автоматичному циклі на холостому ходу: перевіряють час виконання всіх переходів циклу, відсутність при переміщеннях виконавчих елементів затримок, ривків тощо, роботу всіх блокувань, надійність закріплення пристосувань-супутників; при необхідності корегують керуючу програму ПК (виконує налагоджувач-електронік).

11. Устанавлюють та регулюють положення ріжучого інструменту.

12. Проводять налагодження обладнання на обробку заготовок: перевіряють відповідність параметрів заготовок та комплектуючих матеріалів наведеним у технологічній карті вимогам та умовам (заготовки та комплектуючі матеріали, що не відповідають устанавленим вимогам повинні бути відбраковані); настроюють задані режими обробки, регулюють подачу ЗОР; устанавлюють заготовки у пристосуваннях та перевіряють надійність закріплення, а також щільність їх прилягання до базових поверхонь; налагоджують ручні контрольні-вимірні

прилади та пристрої; здійснюють спробну обробку одної-двох заготовок і після їх обмірювання, в разі необхідності корегують програму керування ПК (виконує наладчик-електронік); виконують підналагодження обладнання; перевіряють функціонування пристроїв для подрібнення та видалення стружки; при виявленні відхилень від їх нормальної роботи з'ясовують причини неполадок та усувають їх; перевіряють геометричну точність обладнання і в разі необхідності проводять його додаткове вивірення.

13. Перевіряють роботу обладнання в автоматичному циклі при обробці партії заготовок.

Для проведення налагоджувальних робіт необхідна така технічна документація: проекції загального вигляду та складальні креслення обладнання, складальні креслення його вузлів; схема установа обладнання на фундаменті; схеми керування верстатами; схеми та карти змащення; ескізи заготовок та деталей; карти налагодження; ескізи інструментів; циклограми роботи обладнання; принципів та монтажні електричні схеми; гідравлічні та пневматичні схеми; план-графік робіт з технічного обслуговування та ремонту обладнання; вимоги та умови щодо його експлуатації.

## 2. Установлення верстатних комплексів на фундамент

Точність обробки, шорсткість оброблюваних поверхонь заготовок, продуктивність та довговічність обладнання значною мірою залежать від правильного установлення та закріплення його на фундаменті.

Призначення фундаменту полягає в тому, щоб сприймати масу обладнання та рівномірно передавати її на ґрунт, а також сприймати і гасити коливання, що виникають під час роботи верстата. Площу фундаменту визначають з умови дотримання допустимого питомого навантаження на ґрунт (навантаження, що діє на 1 см<sup>2</sup> ґрунту з боку фундаменту або основи обладнання).

Для верстатів нормальної точності мінімальна необхідна висота бетонного фундаменту


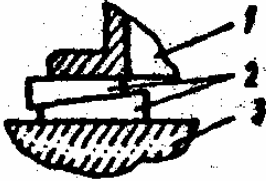

$$H = K\sqrt{L},$$

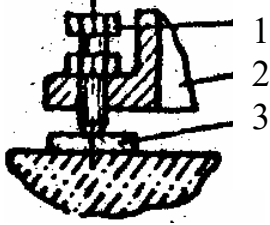
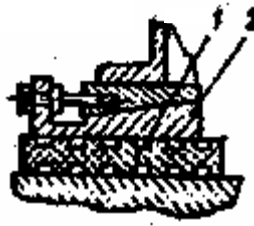
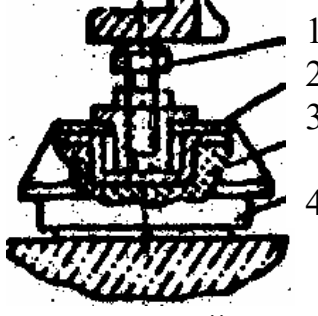
де **K** - коефіцієнт, що визначається групою та типом обладнання;  
**L** - довжина фундаменту, м. Значення коефіцієнта **K** для токарних, горизонтально-протяжних, поздовжньо-стругальних, поздовжньо-фрезерних верстатів складає 0,3; для шліфувальних верстатів - 0,4; для зубонарізних, карусельних, безконсольних та консольних фрезерних, вертикальних токарних напівавтоматів та автоматів, горизонтально-розточувальних верстатів - 0,6; для вертикально- та радіально свердлильних верстатів - 0,6...1; для поперечно-стругальних та довбальних верстатів - 0,6...1,4. Для обладнання АЛ та верстатів з ЧПК значення **K** потрібно збільшити на 20%.

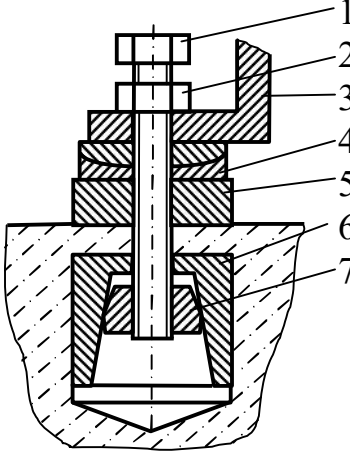
Вид фундаменту, а також спосіб установлення та закріплення на ньому обладнання верстатних комплексів залежно від характеристик та умов експлуатації останніх, можна вибрати за табл. 2.1.

Таблиця 2.1


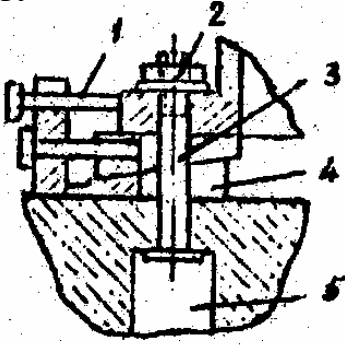
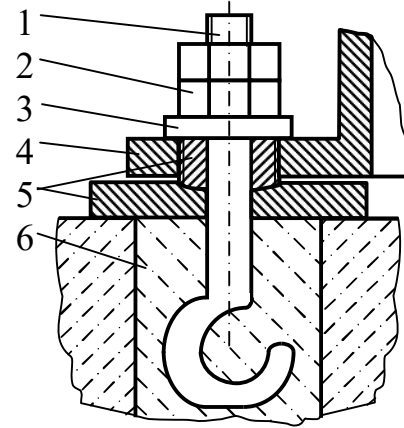
Загальні рекомендації щодо установалення та закріплення на фундаменті обладнання верстатних комплексів

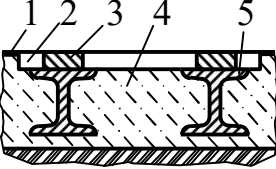
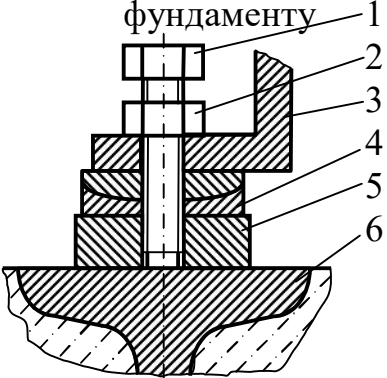
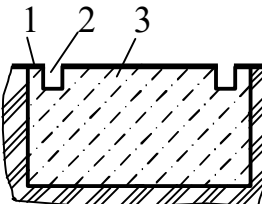
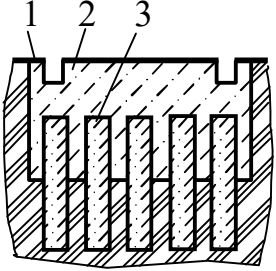
Вид фундаменту	Спосіб установалення та закріплення обладнання	Характеристика обладнання та умови його експлуатації
Загальне бетонне полотно цеху  1 – чиста підлога; 2 – бетонна плита товщиною 15...25 см; 3 – ґрунт	Без кріплення фундаментними болтами та заливання станини цементним розчином	Легке допоміжне обладнання різного призначення, яке вимагає частого переустановалення та розташоване в робочій зоні мостових кранів
	На клинцях  1 - обладнання; 2 - клинці; 3 - бетонна плита	Неметалообробне обладнання, що працює спокійно, без ударів (автомати для миття, складання, пакування, електроречі, баки тощо)
	На клинових башмаках  1 - регулювальний гвинт; 2 - обладнання; 3 - рухомий та нерухомий елементи башмака	Невеликі верстати з короткими станинами масою до 5 т, що використовують для виконання операцій відносно невисокої точності і які працюють у легкому режимі

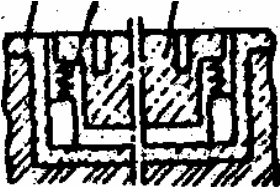
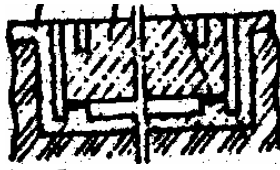
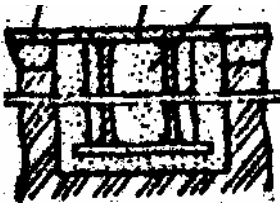
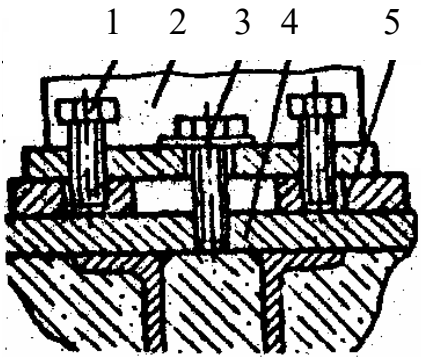
Вид фундаменту	Спосіб установлення та закріплення обладнання	Характеристика обладнання та умови його експлуатації
Загальне бетонне полотно цеху	<p>На підкладках та гвинтових опорах</p>  <p>1 - опорний гвинт; 2 - обладнання; 3 - підкладка</p>	Невеликі верстати з короткими станинами масою до 5 т, що використовують для виконання операцій відносно невисокої точності і які працюють у легкому режимі
	<p>На клинових башмаках та гумових килимках</p>  <p>1 - гумовий килимок; 2 - клиновий башмак</p>	Невеликі верстати, що встановлюються на жорстких бетонних перекриттях над підвалом або працюють в умовах вібрацій, які передаються від сусіднього обладнання; використовуються для виконання операцій відносно невисокої точності при обробці зрівноважених заготовок із застосуванням легких режимів різання
	<p>На віброізолюючих опорах</p>  <p>1 - регулювальний гвинт; 2 - кришка; 3 - гума; 4 - опора</p>	


Вид фундаменту	Спосіб установлення та закріплення обладнання	Характеристика обладнання та умови його експлуатації
Загальне бетонне полотно цеху	<p>На клинцях без кріплення фундаментними болтами із заливанням станини цементним розчином</p>  <p>1 - клин; 2 - підливка цементного розчину</p>	Верстати, установлені поза робочою зоною мостових кранів, з довгими станинами масою до 15 т, нормальної точності, які працюють у середньому режимі (цементний розчин підливається після вивірення положення верстата в повздовжній та в поперечних площинах)
	<p>На клинцях із заливанням станини цементним розчином та кріпленням обладнання фундаментними болтами</p>	Верстати, які установлюються в зоні роботи мостових кранів, з довгими складеними станинами; преси з різкими зворотно-поступальними переміщеннями виконавчих елементів; обладнання АЛ (ГВС) з жорстким зв'язком
	<p>На гвинтових опорах з цанговим кріпленням</p>  <p>1 - болт; 2 - гайка; 3 - обладнання; 4 - сферичні шайби; 5 - підкладка; 6 - цанга; 7 - втулка</p>	Верстати нормальної точності, масою до 15 т, що працюють в середньому режимі; неметалообробне обладнання АЛ (отвори під цанги свердяться в підлозі цеху за розмітками за допомогою пневмосвердлильної машини)



Вид фундаменту	Спосіб установлення та закріплення обладнання	Характеристика обладнання та умови його експлуатації
<p>Стрічковий</p> <p>1 2</p>  <p>1 – чиста підлога; 2 - бетонний блок</p>	<p>На клинових башмаках з упорними та анкерними фундаментними болтами</p>  <p>1 - упорний болт; 2 - гайка з пружинною шайбою; 3 - анкерний болт; 4 - клиновий башмак; 5 - отвір під болт</p>	<p>Верстати різного призначення нормальної точності масою до 30 т, які використовуються для обробки зрівноважених заготовок у широкому діапазоні режимів (отвори під анкерні болти виконують у фундаменті заздалегідь)</p>
	<p>На гвинтових опорах або клинових башмаках із заливними фундаментними болтами</p>  <p>1- болт; 2 - контргайка; 3 - шайба; 4 - обладнання; 5 - сферичні шайби; 6 - отвір під болт</p>	<p>Верстати нормальної точності різного призначення масою до 15 т, які використовуються при виконанні робіт без ударних навантажень в широкому діапазоні режимів (отвори розміром 100×100×350 мм під болти роблять у фундаменті заздалегідь і після їх установлення та завершення регулювання положення верстата отвори заливають цементним розчином)</p>

Вид фундаменту	Спосіб установлення та закріплення обладнання	Характеристика обладнання та умови його експлуатації
<p>Балковий</p>  <p>1 - чиста підлога; 2 - короб для збирання ЗОР; 3 - планка; 4 - бетонна плита; 5 - балка</p>	<p>На гвинтових опорах з кріпленням до балок фундаменту</p>  <p>1 - кріпильний болт; 2 - контргайка; 3 - обладнання; 4 - сферична шайба; 5 - планка; 6 - балка</p>	<p>Верстатні комплекси вбудовані в АЛ, масою до 10 т, що працюють в широкому діапазоні режимів в тому числі і при виконанні обдирних операцій; верстати нормальної точності з довгими (складеними) станинами (планки 5 приварюють до балок 6 після того як верстат виставлений у повздовжній та поперечних площинах)</p>
<p>Індивідуальний звичайного типу</p>  <p>1-чиста підлога; 2 - отвори під болти; 3 - фундамент</p>	<p>На клинових башмаках з упорними та анкерними фундаментними болтами (див. ескіз, який відповідає такому самому способу установлення та закріплення обладнання на стрічковому фундаменті)</p>	<p>Верстати різного призначення масою 15-30 т і більше, які використовують при виконанні робіт з ударними динамічними навантаженнями з реалізацією важких режимів різання; преси для вирубки, витяжки; верстати різного призначення високої точності масою до 15 т, які використовують при роботі без ударних навантажень</p>
<p>Пальовий</p>  <p>1- чиста підлога; 2- фундамент; 3- бетонні палі</p>	<p>На гвинтових опорах або клинових башмаках з кріпленням заливними фундаментними болтами (див. ескіз, який відповідає такому самому способу установлення та закріплення обладнання на стрічковому фундаменті)</p>	<p>Верстати різного призначення нормальної і високої точності масою до 15т, які використовують переважно при виконанні робіт без ударних навантажень</p>

Вид фундаменту	Спосіб установлення та закріплення обладнання	Характеристика обладнання та умови його експлуатації
<p>Віброізолюваний на пружинах</p> <p>1 2 3</p>  <p>1- приямок; 2 - пружина; 3 - бетонний блок</p>	<p>На гвинтових опорах або клинових башмаках з кріпленням заливними фундаментними болтами (див. ескіз, який відповідає такому самому способу установлення та закріплення обладнання на стрічковому фундаменті)</p>	<p>Верстати різного призначення, які використовують для виконання високоточних (фінішних) операцій при роботі без ударних навантажень та необхідності забезпечення надійної віброізоляції від зовнішніх джерел вібрації</p>
<p>Віброізолюваний на гумових килимках</p> <p>1 2 3</p>  <p>1- бетонний приямок; 2- бетонний блок; 3- гумовий килимок</p>		<p>Верстати, що піддаються дії зовнішніх навантажень для компенсації перекосів їх станин</p>
<p>Для установлення стояків ПР, підйомників тощо</p> <p>1 2 3</p>  <p>1- бетонна плита; 2 - зварний підколонник; 3 - бетонний приямок</p>	<p>На підкладках з кріпильними та регулювальними болтами</p> <p>1 2 3 4 5</p>  <p>1 - регулювальний болт; 2 - обладнання; 3 - кріпильний болт; 4 - підставка; 5 - підкладка</p>	<p>ПР, підйомники, колони, стояки, стелажі ГВС різних типів висотою до 2м; висота підколонника залежить від висоти колони, але складає не менше 0,6... 0,7 м; після перевірки положення обладнання (рівнем у вертикальній площині) підкладки 5 підганяють за товщиною і установлюють під основу обладнання 2</p>

Вид фундаменту	Спосіб установлення та закріплення обладнання	Характеристика обладнання та умови його експлуатації
<p>Для установлення ПР, стояків, конвеєрів</p> <p>1    2    3</p>  <p>1 - бетонна плита; 2 - балка; 3 – бетонний приямок</p>	Такий самий, як і при установленні на фундаменті попереднього виду	ПР різних типів, основи конвеєрів

### 3. Випробування верстатних комплексів

Основним видом перевірки верстатів є їх приймальні випробування на заводі-споживачі. Відповідно до технічних умов вони включають перевірку верстата на холостому ходу, під навантаженням, на точність, жорсткість, вібростійкість, а також перевірку на шум.

#### 3.1. Перевірка якості виготовлення верстатів.

Випробування верстатів на холостому ходу та під навантаженням

Перевірку технічного стану металорізального верстата починають із зовнішнього огляду. Далі перевіряють легкість поворотів вручну рукояток, гвинтів та маховиків, величину мертвих кутів при їх поворотах, а також справність всіх механізмів верстата. Потрібно, щоб зусилля на маховиках не перевищували допустимих значень, а виконавчі елементи переміщувались з рівномірною швидкістю.

При випробуванні верстатів на холостому ходу перевіряють відхилення фактичних частот обертання та подач від заданих, правильність роботи механізмів швидких переміщень. Під час тривалої роботи верстата на холостому ходу та після неї контролюють стан підшипників, муфт, гальм, електродвигунів, функціонування змащувальної системи. Наприклад, температура підшипників кочення опор шпинделя після випробування не повинна перевищувати  $85^{\circ}\text{C}$ , а підшипників ковзання  $70^{\circ}\text{C}$ . Для інших механізмів межа максимально допустимої температури в процесі роботи має бути не вищою  $50^{\circ}\text{C}$ .

Після перевірки верстата на холостому ходу починаються його випробування під навантаженням. При цьому вибирають і забезпечують найбільш важкі умови обробки та короткочасні перевантаження (до 25%). Під час випробувань контролюють роботу всіх механізмів та систем верстата. Випробування проводять при чорновому та чистовому режимах обробки типових заготовок і матеріалів. Наприклад, при перевірці токарного верстата обточується вал діаметром, що дорівнює 0,25 висоти центрів та довжиною до 300 мм. Контролюється його конусність, овальність, площинність торців.

Необхідні точність та шорсткість поверхонь обробленої деталі регламентуються відповідними технічними умовами.

#### 3.2. Перевірка геометричної точності верстатів

Точність обробки на верстаті характеризується величинами відхилень розмірів, форми та відносного розташування одержуваних поверхонь від відповідних параметрів заданої геометричної поверхні. У зв'язку із цим, перевіряють точність виготовлення окремих елементів верстата: геометричну форму посадочних поверхонь (непрямолінійність, неплщинність, овальність, конусність), радіальне та осьове биття при обертанні шпинделів, непрямолінійність та неплщинність напрямних

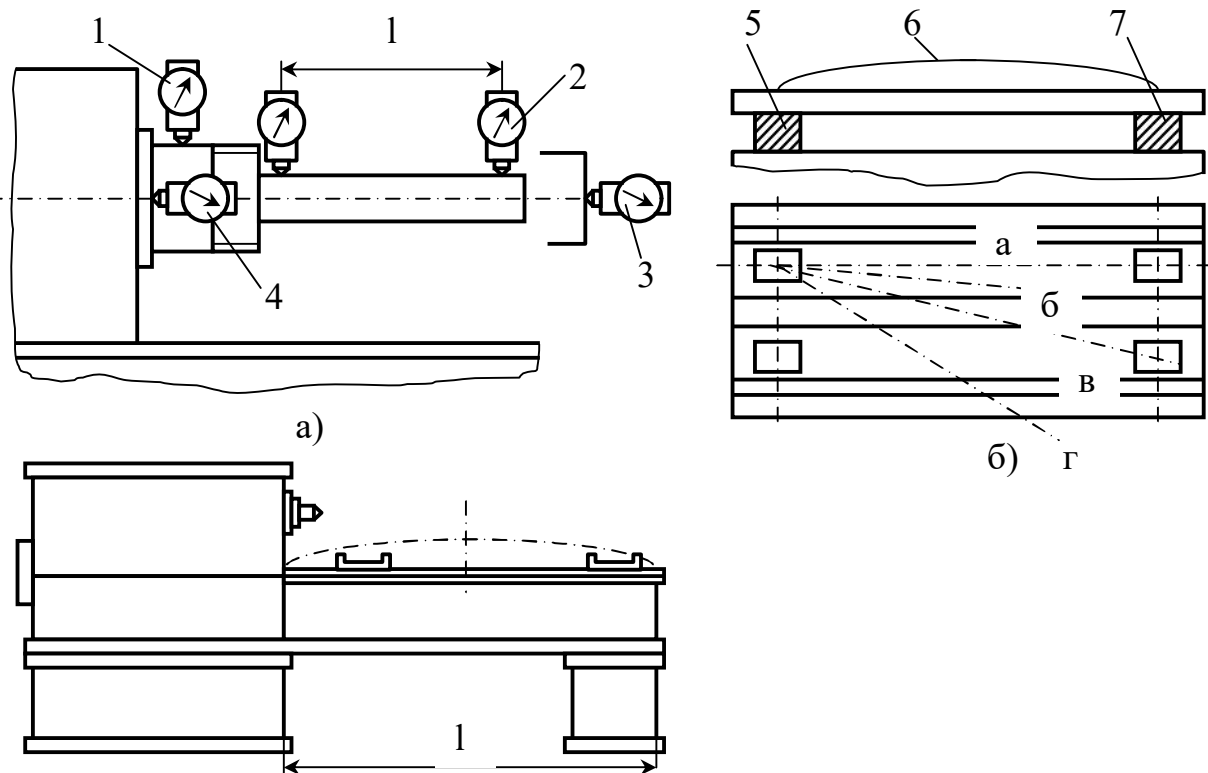


Рис. 3.1. Схеми перевірки металорізальних верстатів на точність

поверхонь столів, непрямолінійність переміщення супортів, точність ходових гвинтів і т.д. Контролю підлягає також точність взаємного розташування та рухів вузлів і елементів верстата (непаралельність та неперпендикулярність напрямних і робочих поверхонь столів відносно шпинделів, неспіввісність або непаралельність останніх і т.д. Таким чином, у всіх верстатів, що випускаються, обов'язково контролюють геометричну точність.

Точність технологічного обладнання регламентована відповідними стандартами „Норми точності”, згідно з якими для верстатів кожного типу передбачена певна кількість інструментальних перевірок геометричної точності, проведених у статичному стані. Значення допустимих відхилень, що контролюються під час перевірок, залежать від класу точності верстата. Як перевірні інструменти застосовують контрольні та лекальні лінійки, зразкові оправки, рівні, щупи, індикатори, мінометри, оптичні прилади та спеціальні пристосування.

На рис. 3.1 показані деякі схеми перевірки верстатів основних груп на точність. Наприклад, осьове та радіальне биття шпинделів перевіряють за допомогою індикаторів (див. рис. 3.1, а), при цьому індикатором 1 контролюють радіальне биття центральної шийки шпинделя, а з використанням індикатора 2 та зразкової оправки, щільно вставленої в отвір шпинделя - биття осі кінцевого отвору шпинделя (остання перевірка проводиться біля торця шпинделя та на певній відстані І від нього, величина якої встановлюється стандартом). Для перевірки осьового биття

шпинделя в його отвір вставляють коротку оправку з плоским шліфованим торцем. Шпиндель навантажують осьовою силою, приводять його в обертання та контролюють за допомогою індикатора 3 осьове биття. Крім цього, перевіряють неперпендикулярність торцевої поверхні фланця шпинделя до його осі (при виконанні даної перевірки використовується індикатор 4, допустимі відхилення складають звичайно 0,01 - 0,005 мм).

Для перевірки непощинності робочих поверхонь столів верстатів (див. рис. 3.1, б) застосовують контрольну лінійку 6, під кінці якої підкладають мірні пластини 5 і 7 однакової висоти. Відхилення від площинності визначають шляхом вимірювання за допомогою щупа та мірних пластин відстані між поверхнею столу та нижньою площиною лінійки. Дана перевірка проводиться в декількох перерізах а – б – в – г.

Контроль непрямої лінійності напрямних починають від середини станини (див. рис. 3.1, в). Далі рівень через інтервали 300 - 500 мм поступово переставляється до лівого, а потім і до правого кінця станини. Похибку обчислюють як половину алгебраїчної різниці показань рівня. Звичайно відхилення допускаються тільки у бік опуклості (запас на зношування), а допуск задається в міліметрах на 1 м довжини напрямних.

### 3.3. Перевірка кінематичної точності верстатів

Верстати, при роботі яких здійснюються складні формоутворювальні рухи, окрім достатньої геометричної точності, повинні мати і відповідну кінематичну точність, під якою розуміють забезпечення заданих співвідношень швидкостей руху виконавчих елементів, що беруть участь у реалізації того чи іншого складного руху формоутворення [12]. При виготовленні верстатів, а також під час їх ремонту необхідно точно визначити кінематичні помилки. У зв'язку із цим, стандартами передбачені перевірки токарно-гвинторізних, токарно-затилувальних, зуборізних, різьбонарізних та різьбошліфувальних верстатів.

З метою контролю кінематичної точності механізмів верстатів застосовують прилади, які дозволяють установити зміну передаточного відношення, що обумовлена похибками зубчастих передач. На практиці застосовують різні типи вимірювальних пристроїв [12, 13]. Розглянемо один з них, принцип дії якого оснований на магнітоелектричному записі (рис. 3.2). Прилад вимірює зсув електричних фаз сигналів, що надходять від датчиків 1 і 2, установлених на кінцях кінематичного ланцюга, який перевіряється. Датчик 1 контактує з вхідним валом, що обертається з великою частотою. Датчик 2 забезпечує контроль частоти обертання вихідного вала. Число магнітних хвиль на дисках приладу, включених в електричний ланцюг разом з датчиками, відповідає передаточному відношенню передачі, що перевіряється. Кожен з датчиків містить магнітні головки, за допомогою яких можна записувати магнітоелектричні сигнали. Зсув за фазою обох сигналів, що зчитуються уловлюється фазометром 3 та

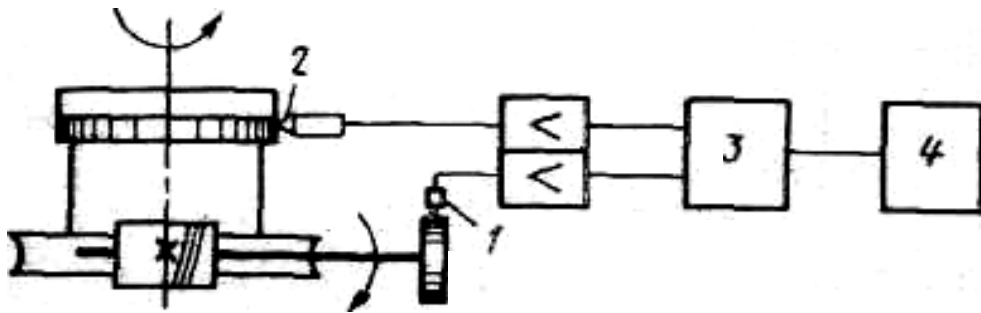


Рис. 3.2. Схема вимірювання кінематичної точності верстата

записується осцилографом 4. Пристрій дозволяє вимірювати відносну похибку до  $10^{-7}$ .

### 3.4. Випробовування на жорсткість та вібростійкість

Висока геометрична та кінематична точність верстата є необхідною, але недостатньою умовою для забезпечення необхідної якості обробки. Велике значення має також жорсткість вузлів верстата. Статична характеристика жорсткості являє собою відношення  $k = y/P$  ( $P$  - прикладена сила;  $y$  - величина деформації), яка називається піддатливістю, або величину, зворотну їй,  $j = P/y$  - жорсткість. Дослідженнями ряду авторів [12] встановлено, що сумарна деформація в основному залежить від деформацій у стиках. А оскільки останні в значній мірі залежать від точності форми та шорсткості базових поверхонь складових елементів верстата, то для об'єктивного оцінювання точності обробки заготовки потрібно контролювати його загальну жорсткість, норми якої наведені у відповідних стандартах.

Нестійкість кінематичної системи верстата проявляється у вигляді стрибкоподібного руху його вузлів. Стрибки в процесі механічної обробки, особливо небажані для фінішних операцій. Дефекти виготовлення та складання вузлів досить помітно впливають на жорсткість системи верстата і приводять до виникнення в ній різних збурень.

На рис. 3.3 зображений прилад конструкції ЕНІМС для перевірки жорсткості токарних верстатів. Прилад закріплюється в різцетримачі верстата, а на центрах останнього встановлюється оправка 2. Вузол навантаження включає черв'як з черв'ячним колесом, виконаним як одне ціле з гайкою, в яку по різьбі входить гвинт 6. При обертанні черв'яка гвинт 6 зміщується відносно гайки в результаті навантаження від нього передається через динамометр 3 на оправку 2. Стиск виконавчого елемента динамометра, за величиною якого можна судити про значення навантаження в системі верстата, - вимірюється індикатором 4, а деформації оправки у вертикальній та горизонтальній площинах, що посередньо характеризують нежорсткість вузлів верстата (шпиндельної групи, задньої бабки та супорта) - індикаторами 1 та 5.



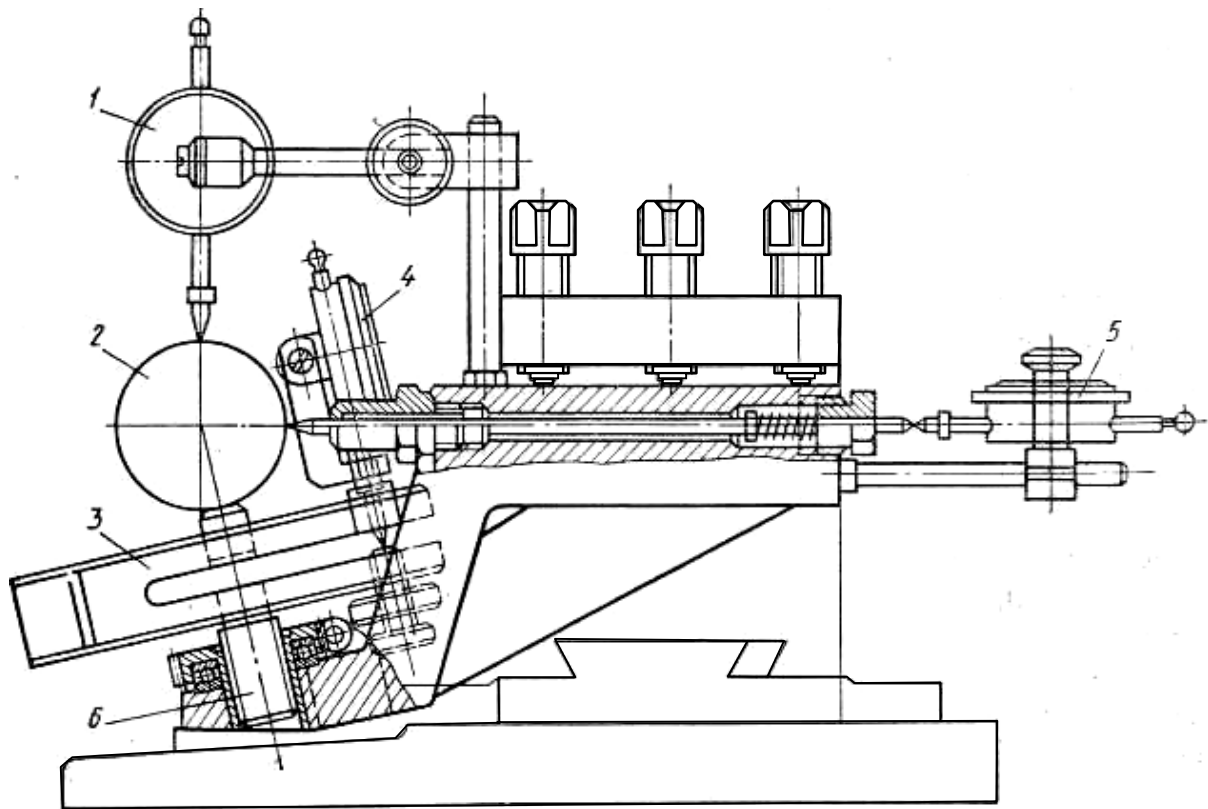


Рис. 3.3. Прилад для вимірювання жорсткості токарних верстатів

Вібростійкість верстатів перевіряють як правило при малих швидкостях ковзання виконавчих елементів. Випробування верстатів на вібростійкість в процесі різання зводиться до визначення граничної стружки і її залежності від швидкості різання. Граничною стружкою називають найбільшу ширину зрізу, що знімається на верстаті без вібрацій. Наприклад, для токарних верстатів з висотою центрів 200 мм випробування проводять за допомогою оправок, установлених: на центрах (рис. 3.4, а); в конічному отворі шпинделя (на консольній оправці, рис. 3.4, б); в патроні (рис. 3.4, в) або в патроні та на задньому центрі (рис. 3.4, г). Контроль виконується на всіх ступенях частоти обертання шпинделя та при трьох-п'яти значеннях подачі.

Визначення граничної стружки досить утруднене, оскільки відповідний режим роботи верстата є досить нестійким. Визначають граничну стружку за слідами на обробленій поверхні при  $v = 0,5$  м/с, за характерним звуком під час роботи при  $v = 1 - 2$  м/с, за сильною хвилястістю та зазубреністю стружки при  $v = 2 - 7$  м/с. Для підвищення точності випробування рекомендується додатково вимірювати ще і амплітуду коливань заготовки, корпусу шпиндельної бабки або стола [12].

У лабораторних умовах вібростійкість верстата можна визначити за амплітудно-фазочастотною характеристикою. З цією метою в системі в напрямку сили різання штучно збуджуються коливання в діапазоні частот 30 - 300 Гц. Розгортку відносних коливань записують на кіноплівку [14], після обробки якої, будують амплітудну й фазову характеристики, а на їх

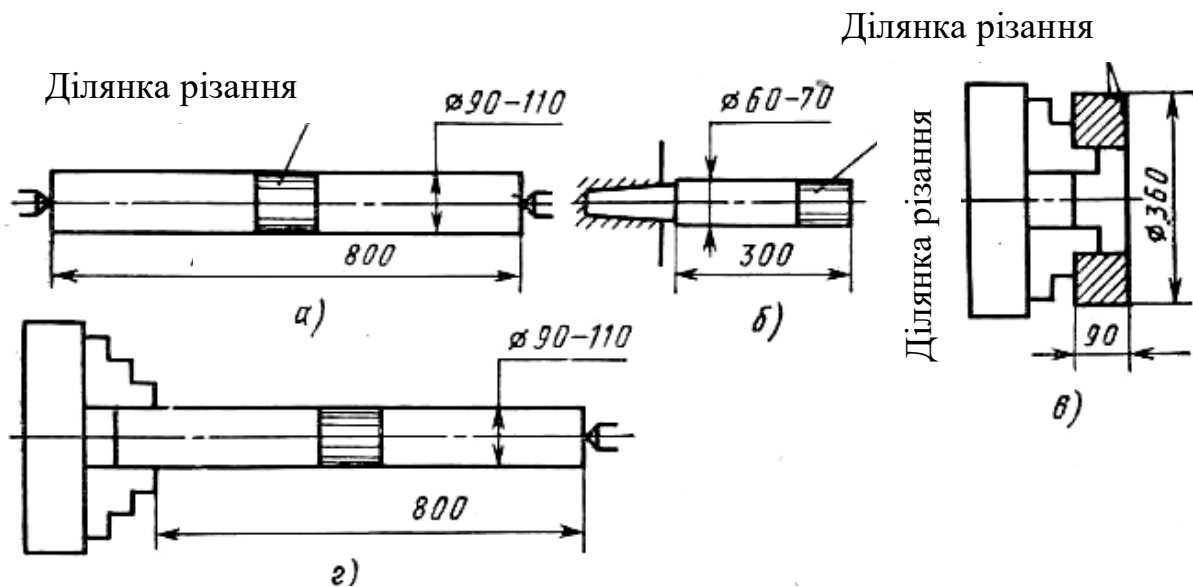


Рис. 3.4. Схеми випробування токарних верстатів на вібростійкість

основі - амплітудно-фазочастотну характеристику пружної системи. Більш детально дана методика описана в роботі [12].

### 3.5. Перевірка верстатів на шум

Вплив шуму високої інтенсивності приводить до різних розладів функціональних систем людського організму. Систематичний вплив сильного шуму може бути причиною ряду професійних захворювань (глухуватість, глухота), виробничого травматизму, зниження продуктивності праці. Випробування металорізальних верстатів на шум необхідне для того, щоб забезпечити задовільні умови праці операторів та наладчиків.

Підвищений рівень шуму є одним з найважливіших показників якості верстата, що свідчить про наявність значних відхилень від заданих точності та шорсткості поверхонь тих його деталей, які беруть участь у передачі руху.

ОСТ 2Н-40 -75 установлює два види випробувань на шум для металорізальних верстатів: контрольні випробування, які проводяться для кожного верстата серії і передбачають вимірювання корегованого рівня шуму за шкалою А; типові випробування, яким в обов'язковому порядку піддається кожний дослідний зразок і періодично - окремі одиниці верстатів, що випускаються серійно.

При типових випробуваннях верстатів досліджується ряд їх шумових характеристик. Насамперед визначають рівень звукового тиску в третьоктавних смугах частот, вимірюваних на робочому місці під час обкатки верстата на холостому ході. Мікрофон установлюють на відстані 1 м від контурної лінії верстата та на відстані 1,5 м від площини його фундаменту (рис. 3.5). Далі визначають корегований рівень шуму в

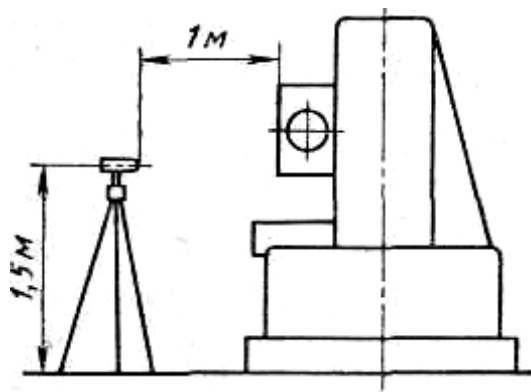


Рис. 3.5. Схема розташування шумоміра відносно верстата

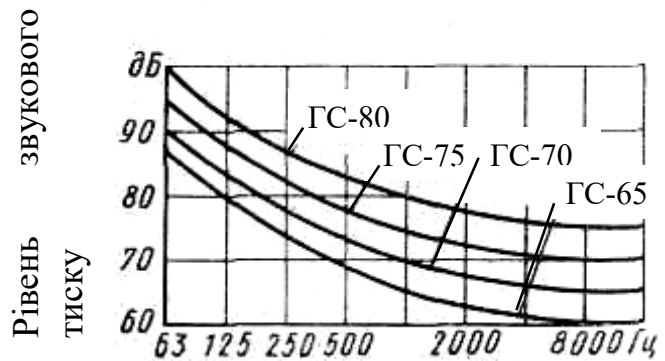


Рис. 3.6. Рівень звукового тиску

децибелах за шкалою А. Характеристики знімають за допомогою шумоміра та аналізатора частот.

Користуючись визначеними величинами, розраховують рівень звукового тиску в смугах частот, приведених до опорних радіусів зі стандартними значеннями 1, 3 і 10 м, а потім визначають корегований рівень звукової потужності за методикою ОСТ 2Н-40 —75. Дві перші характеристики регламентуються нормативами. Значення рівнів звукового тиску в частотних смугах спектра не повинні перевищувати величин, що визначаються за нормативною кривою граничного спектра (ГС) відповідного номера (рис. 3.6). Сам номер нормативної кривої відповідає граничному рівню звукового тиску для третьоктавної смуги зі стандартною середньгеометричною частотою 1000 Гц. Вибирають номер залежно від сумарної потужності приводів верстата:

Потужність, кВт.....	До 1,25	1,25 – 4	4 – 12,5	12,5 - 18
Номер кривої .....	ГС-65	ГС-70	ГС-75	ГС-80

Корегований рівень шуму за шкалою А не повинен перевищувати значення, обчисленого шляхом додавання 7 дБ до номера нормативної кривої, що відповідає сумарній потужності приводів верстата.

## 4. Організація та проведення налагодження, регулювання та настройки верстатних комплексів

### 4.1. Налагодження

Верстатні комплекси являють собою складні металорізальні системи, що включають вузли та деталі різного призначення та конструкцій. До найскладніших металорізальних систем відносять верстати з ЧПК, а також ділянки на їх основі.

Експлуатація верстатних комплексів і, зокрема, верстатів з пристроями ЧПК показала, що їх раціональна робота та можливості для підвищення продуктивності значною мірою залежать від того, наскільки правильно організовані технічне обслуговування та налагодження даного обладнання. Втрата працездатності верстата або пристрою ЧПК в процесі експлуатації відбувається, головним чином, внаслідок старіння, зносу або порушення регулювання окремих механізмів, складальних одиниць, пристроїв та елементів. Працездатність та первинні робочі параметри вузлів та механізмів верстатів відновлюють під час ремонту та налагодження.

Процес налагодження складних металорізальних систем включає велику кількість трудомістких робіт та робіт, які потребують високої кваліфікації наладчика. Можна виділити три види налагодження: на заводі-виготовлювачі; на заводі-споживачі та після ремонту верстата. Крім того, розрізняють налагодження для обробки деталі нового виду й повторне налагодження.

На заводі-виготовлювачі здійснюється підготовка до першого пуску верстата і сам пуск. Для цього перевіряється правильність монтажу, працездатність вузлів та механізмів верстата, систем змащення, гідравлічної, електричної систем, їх попереднє регулювання. Перевірка проводиться для кожного з вузлів по черзі, при цьому всі інші вузли та пристрої відключаються за допомогою пакетних перемикачів. Перевіряється правильність установа упорів, відпрацьовування окремих етапів заданого циклу механічної обробки, а потім і робота верстата в цілому в автоматичному циклі на холостому ході. Верстат повинен відпрацювати 10...15 циклів, протягом яких виявляються й у подальшому усуваються недоліки в його роботі. Здійснюється установа й настройка інструментів на верстаті або поза ним. При цьому необхідно також точно налагодити пристрої для перемикання режимів переміщення столів та інших виконавчих елементів, наприклад, з режиму прискореного підведення у режим робочої подачі. Верстат перевіряють ще раз на холостому ході з установленими інструментами протягом 1...1,5 год, а далі – і при робочих навантаженнях. Під час обробки пробної партії деталей рекомендується спостерігати за роботою верстата на кожній його позиції окремо, відключаючи всі силові вузли, окрім одного. На багатопозиційних верстатах спочатку установається одна оброблювана заготовка, що має пройти по всіх позиціях. У

послідовність процесу налагодження входять також операції установа, регулювання та настройки приладів контролю та пристроїв їх адаптації.

Налагодження верстата на заводі-споживачі може додатково містити ряд трудомістких операцій. Так, наприклад, первинне налагодження токарно-карусельного напівавтомата займає у висококваліфікованого майстра-наладчика біля двох робочих днів. Необхідна спеціальна служба з налагодження технологічного процесу під час початку експлуатації на виробництві нового верстата. Дана служба має виконати налагодження верстата та здати представнику відділу технічного контролю першу партію виготовлених деталей, що повинні відповідати технічним вимогам креслення.

Досить складні операції може включати і повторне налагодження для обробки деталей іншого типорозміру автоматів та напівавтоматів. При цьому ще перед початком налагодження потрібно виконати такі підготовчі роботи, як зняття, очищення й здача на зберігання старого оснащення. Далі починається власне налагодження [8]:

- вивчення карти налагодження, підбір необхідних ріжучих та вимірювальних інструментів, тримачів, комплектів кулачків, змінних цанг, огляд і регулювання окремих вузлів і механізмів. Всі засоби для нової наладки повинні підбиратись при умові максимального використання уніфікованих вузлів. Спеціальне оснащення застосовується у крайньому випадку, коли не можна підібрати відповідні стандартизовані пристрої;

- налагодження заданої частоти обертання шпинделя, розподільного вала, приводного ходового гвинта, швидкості переміщення поздовжнього супорта тощо;

- установа та регулювання подавальних та затискних пристроїв;

- установа та регулювання кулачків, копирів, упорів, спеціальних пристосувань;

- установа і закріплення на супортах тримачів з ріжучими інструментами, попереднє налагодження довжин ходів супортів, спробна обробка одної - двох заготовок, їх обмірювання;

- остаточне регулювання положення ріжучих інструментів, установа жорстких упорів, перевірка правильності налагодження в цілому при обробці контрольної партії заготовок;

- установа захисних пристроїв, регулювання механізмів блокування, інструктування токаря-автоматника й здача автомата або напівавтомата в подальшу експлуатацію.

Налагодження верстатів з ЧПК на заводі-виготовлювачі включає перевірку характеристик, вказаних у паспорті верстата, максимальних прискорень та швидкостей переміщень відносно координатних осей, надійності пристроїв ЧПК, повторюваності, точності. Виявлені відхилення повинні бути усунені й тільки після цього верстат передається в експлуатацію [9].

Первинне налагодження верстата з ЧПК на заводі-споживачі передбачає перевірку правильності його роботи й відновлення паспортних або установавання інших заданих робочих параметрів гідравлічних, пневматичних, механічних вузлів, електричних апаратів, електронних пристроїв, блоків ЧПК, схем автоматичного регулювання, електричних регульованих слідкувальних приводів подач, забезпечують надійність, точність, швидкодію та послідовність роботи верстата відповідно до заданої програми. Налагодження верстатів з ЧПК включає поетапне налагодження пневмо- і гідросистем, механічних вузлів, електрообладнання, пристроїв ЧПК.

Наприклад, налагодження гідросистеми верстата з ЧПК (див. також розділ 5) включає такі основні операції: ознайомлення з описом циклу роботи гідросистеми, перевірка правильності її монтажу, налагодження довжин ходів та регулювання за допомогою дроселів швидкостей переміщення поршнів виконавчих гідроциліндрів підйому та опускання механічної руки автооператора, фіксації заготовки та інструмента, настроювання тиску спрацьовування запобіжних клапанів, регулювання ходу золотників гідророзподільників, редукційних клапанів, реле тиску тощо. Після завершення регулювань величин тиску та швидкостей переміщення вузлів, визначають тиски та витрати в заданих точках гідросистеми, її статичні та динамічні характеристики, контролюють величини витоків. Аналогічні налагоджувальні роботи проводять для пневмосистем.

Налагодження механічних вузлів верстатів починають після ознайомлення з їх кінематичними схемами. При цьому необхідно керуватися такими загальними правилами: налагодження виконується послідовно для кожного механізму або вузла (наприклад, для механізмів привода подачі послідовність налагодження буде такою: редуктор привода подачі - кулькова гвинтова пара - редуктор датчика зворотного зв'язку – шпindel); в процесі налагодження механічних вузлів потрібно відрегулювати зазор в напрямних (забезпечити його оптимальне значення) і створити натяг в гвинтовій парі, привести у допустимі межі радіальний та осьовий зазори в передній і задній опорах шпинделя; усунути зазор в шестеренній передачі обертового моменту від вала гідродвигуна до ходового гвинта, відрегулювати натяг пружин розвантаження, забезпечити паралельність переміщення виконавчого елемента верстата до напрямних, за допомогою клинців установавати задане положення фрезерних бабок відносно напрямних із дотриманням оптимального зазору і т.д. Після завершення налагоджувальних робіт механічних вузлів дані щодо точності, зазорів, сил натягу заносять в паспорт верстата.

Під налагодженням електрообладнання розуміють процес відновлення первинних (паспортних) або установавання нових заданих характеристик електричних машин, апаратів та пристроїв [1]. Роботи з налагодження електрообладнання верстатів починають з вивчення опису їх

принципових електричних схем. В ході виконання робіт виявляють причини неправильного функціонування електрообладнання та усувають несправності, що їх викликають; до останніх можуть відноситись неполадки електродвигуна, комутаційної та пускорегулювальної апаратури, пристроїв контролю та сигналізації тощо).

Загальна послідовність виконання налагоджувальних робіт може складатися з таких основних етапів: підготовчого (ознайомлення з описом роботи електрообладнання, перевірка правильності монтажу, відповідності маркування обладнання та електричних ланцюгів); перевірного (перевіряють стан ізоляції, пристроїв заземлення, продзвонюють електричні ланцюги на відповідність послідовності їх складання принципним схемам, вимірюють під напругою фактичні значення електричних параметрів трансформаторів, джерел живлення постійного та змінного струму, підсилювачів та перетворювачів, при вмиканні режимів холостого та робочого ходу, по ділянках перевіряють пускорегулювальну апаратуру, електричні машини, апаратуру контролю та сигналізації); регулювального (здійснюють регулювання та настройку обмежувачів ходу, установлюють час спрацьовування реле часу, регулюють коефіцієнти підсилення, частоту і форму сигналів генераторів та перетворювачів); випробувального (перевіряють роботу системи керування верстатом на всіх робочих режимах, оформлюють карту напруг, частоти і форми сигналів, струмів, виміряних в контрольних точках схем верстата та пристрою ЧПК).

Слід також врахувати, що у верстатах з ЧПК часто застосовують тиристорні електроприводи постійного струму, налагодження яких слід проводити згідно зі спеціальними програмами, що, як правило, включають зовнішній огляд силового блока та системи керування, вимірювання опору ізоляції, визначення фаз напруги живлення, налагодження і регулювання системи фазового керування. Після підготовки силової схеми вмикають електроживлення системи керування і перевіряють наявність керуючих імпульсів на всіх тиристорах, а також їх фазування відносно анодної напруги, поданої на вимірювальну схему.

Після завершення налагодження електричних машин, пускорегулювальної апаратури, підсилювачів, імпульсних генераторів, а також після здійснення спробного пуску тиристорного перетворювача, починають останній етап налагоджувальних робіт - налагодження системи керування в цілому. При цьому виконують такі операції: визначення полярності напруг та забезпечення зворотних зв'язків за напругою та струмом; вимірювання напруги холостого ходу та струмів короткого замикання на основних та перехідних режимах роботи двигунів; визначення струмів збудження; одержання статичних та динамічних характеристик привода. В процесі виконання налагоджувальних робіт здійснюють осцилографування зміни напруги та форми сигналів в системі керування, крім цього, знімають характеристики перехідних процесів в електроприводі.

Одним з основних критеріїв якості системи ЧПК є ступінь відповідності величин фактичних та заданих параметрів сигналів на виході (амплітуди та форми сигналів), яка залежить від конструкції та призначення ПЧПК і самого верстата. Відповідність фактичних вихідних частоти, амплітуди, форми сигналу, фази напруги заданим визначає точність функціонування та діапазон застосування ПЧПК.

Налагодження ПЧПК потрібно виконувати послідовно для кожного складового пристрою або блока (наприклад, пристроїв зчитування та введення, арифметичного пристрою, блока індикації, інтерполяції, пам'яті, вузла задання швидкості і т. д.). При цьому задачею налагодження є досягнення заданих значень вихідних сигналів вузла, блока або пристрою, що, в свою чергу, дає можливість забезпечити високі точність та працездатність пристрою в цілому. Налагодження виконують за допомогою спеціальних електричних або електронних елементів, установлених в схемі блока, вузла або пристрою (наприклад, змінного резистора); другий спосіб - регулювання робочих параметрів одного з елементів схеми, від яких залежать вихідні параметри пристрою.

Виконання налагодження ПЧПК пов'язано з різноманітними вимірюваннями, здійснюваними в контрольних точках пристрою, за результатами яких оцінюють вихідні параметри вузла, блока та пристрою в цілому. Налагодження ПЧПК вважається завершеним тільки після успішної перевірки функціонування верстата при різних режимах роботи та установлення його відповідності заданій програмі.

#### 4.2. Регулювання

Установлення, вивірення й закріплення виконавчих елементів верстата у належному положенні, що відповідає характеру виконуваних робіт, називається регулюванням.

Установлення й закріплення всіх вузлів верстатного комплексу відповідно до технічних вимог з метою забезпечення якісного виконання необхідних операцій з обробки заготовки залежить від якості самої системи, а також від ретельності та точності регулювання. Наприклад, якщо на внутрішньошліфувальному верстаті обробляється заготовка типу тіла обертання - втулка з жорстким допуском на відхилення від циліндричності отвору, а шпindel із закріпленою в ньому заготовкою має можливість повертатись відносно напрямку переміщення стола, необхідно забезпечити його строгу паралельність даному напрямку. Допущене відхилення на вказану паралельність в повній мірі копіюється на оброблюваній поверхні.

Установлення бабки внутрішньошліфувального верстата із закріпленою в його шпинделі заготовкою в положення, що є строго паралельним ходу стола, на якому змонтований шпindel шліфувального круга, вимагає здійснення трудомісткого регулювання з використанням спеціального оснащення. В комплект такого оснащення повинна входити



циліндрична оправки, виготовлена з високою точністю з відхиленням від циліндричності не більше 1...2 мкм на 100 мм довжини. Діаметр оправки може бути оброблений з невисокою точністю.

Насамперед необхідно установити оправку в патроні шпинделя бабки заготовки з достатньою точністю. Патрон шпинделя бабки заготовки може бути цанговим, трикулачковим або будь-якої іншої конструкції, головне, щоб після його установлення вісь обертання шпинделя була достатньо строго паралельною геометричній осі патрона. Вказану вимогу можна забезпечити шляхом шліфування посадочної поверхні патрона „за місцем” або регулюванням його положення при закріпленні. Непаралельність, що залишиться між осями обертання шпинделя й патрона може бути скомпенсована при установленні оправки.

Ще один спосіб дотримання потрібної точності установлення передбачає виготовлення спеціального патрона із закріпленою в ньому оправкою, яка має можливість повертатись у двох площинах. На рис. 4.1 показана схема установлення оправки з компенсацією похибки у двох площинах відносно осі обертання шпинделя. На схемі позначені: 1 — фланець патрона; 3 — оправка; 2, 4 — гвинти (всього дев'ять гвинтів, показані два); 5 — індикатори; 6 — місток для закріплення стояків індикаторів. Шляхом регулювання положення оправки 3 за допомогою гвинтів 2, 4 забезпечується збіг її осі з віссю обертання шпинделя. При цьому оправка може повертатись у двох площинах на кути  $\alpha$  і  $\beta$ , а також зміщуватись в них на величини  $\epsilon_1$  і  $\epsilon_2$ . Регулювання здійснюється при періодичних поворотах оправки навколо власної осі, за результатами контролю її положення в різних перерізах за допомогою індикаторів.

Після того як дотриманий збіг осі оправки з віссю обертання шпинделя (при однакових показаннях індикаторів), можна починати регулювання положення осі обертання шпинделя відносно напрямку поздовжнього переміщення стола. Для цього повертають шпиндельну бабку, домагаючись однакових показань індикаторів при установленні їх вимірювальних штифтів в горизонтальній та вертикальній площинах з дотиком поверхонь лівого та правого контрольного поясків циліндричного ступеня оправки меншого діаметра.

В результаті описаного регулювання може бути забезпечена непаралельність осі обертання шпинделя до напрямку повздовжнього переміщення стола в межах 1...3 мкм на 100 мм довжини. Таким чином, під час шліфування досягається висока точність діаметра отвору по довжині заготовки. З використанням даного методу можна також установити вісь обертання шпинделя під заданим кутом нахилу. Крім цього, відомий ще один метод регулювання за прошліфованим отвором еталона, але він є досить трудомістким у реалізації і не забезпечує високої точності. Застосування методу регулювання кута нахилу осі обертання шпинделя за оправкою дозволяє підвищити точність установлення у порівнянні із регулюванням за прошліфованим отвором в 3...4 рази.

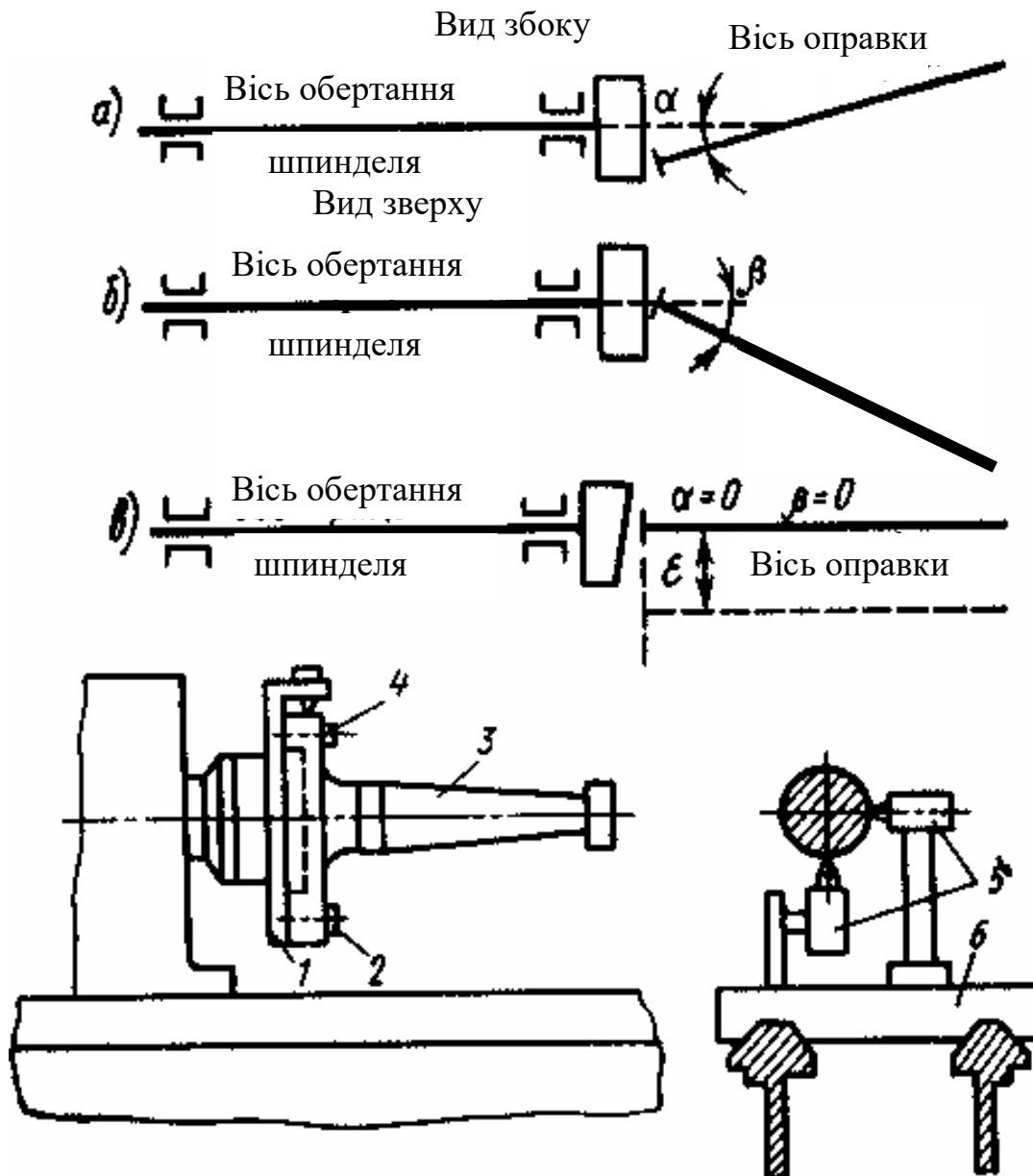


Рис. 4.1. Схема установавання оправки з компенсацією похибки у двох площинах відносно осі обертання шпинделя

Регулювання пристроїв подачі та затискних пристроїв пруткових автоматів полягає в першу чергу в правильному установаванні цанг подачі та фіксації, конструктивні параметри яких повинні відповідати розміру й профілю оброблюваного прутка. Крім цього, здійснюється регулювання величин подачі прутка та зусилля його затиску. В системах керування більшості металорізальних систем, що працюють у напівавтоматичному й автоматичному режимах, використовуються шляхові перемикачі. При налагодженні токарно-револьверних автоматів на їх розподільному валу установаються кулачки керування, після чого при необхідності виконується регулювання їх положення, яке, як і положення шляхових перемикачів, задається в карті налагодження.

Велике значення для забезпечення необхідної точності обробки має правильне установлення й регулювання положення ріжучих інструментів. Їх попереднє регулювання може проводитись як на верстаті, так і поза ним згідно із вказівками карти налагодження. Надалі здійснюється більше точне регулювання положення інструмента, як правило після пробної обробки заготовки.

Чим більшу кількість інструментів включає наладка, тим складнішим й тривалішим є процес їх регулювання на розмір. Для спрощення його в ряді випадків використовують раніше оброблену деталь або спеціально виготовлений еталон. Установлення та регулювання всіх упорів також здійснюється за обробленою деталлю або спеціальним шаблоном. Після завершення пробної обробки та обмірювання виготовленої деталі інструменти, що не забезпечують необхідної точності тих чи інших її розмірів, піддають додатковому регулюванню. Такий вид регулювання можна назвати також налагодженням на розмір. Крім цього, до операцій регулювання відносять зміну швидкостей частот обертання шпинделя верстатного комплексу, що може бути безступінчастою та східчастою.

Фрезерні верстати з ЧПК мод. 654ФЗ, 6М13ГН-1Н, ФП-17МН, ФП-7МН мають регульовані електроприводи постійного струму з системою стеження та тиристорним керуванням серії ПГЗР [9]. Такі приводи мають великий діапазон регулювання при достатній стабільності підтримуваних швидкостей.

Регулюванню підлягає велика кількість вузлів та елементів верстата, в тому числі пристрій ЧПК, в якому, наприклад, може регулюватись механізм фотозчитування інформації з перфострічки, а саме - його оптична система - для забезпечення правильного (строго паралельного) напрямку променів освітлювача відносно осі отвору щілини фотоелементів, пристрій гальмування перфострічки, фотоелементи тощо.

Велика увага приділяється автоматичному регулюванню процесів обробки, під яким розуміють автоматично здійснюваний процес безперервного підналагодження з метою підтримання у відповідних межах основних робочих параметрів під час обробки на верстаті. Автоматичне регулювання являє собою вплив на регульовану величину з метою її уточнення, необхідність в якому обумовлена похибками обробки. Похибки, що виникають у розмірних ланцюгах верстатного комплексу, настроєного на обробку із дотриманням заданих розмірів деталі, під час його роботи можуть компенсуватись шляхом зміни розміру одної з ланок розмірного ланцюга – регулятора. При цьому змінюється також і режим механічної обробки. Наприклад, обробка на круглошліфувальному верстаті валика може здійснюватись при автоматичному регулюванні у такій послідовності. В процесі активного контролю розміру або за результатами перевірки його відхилення, наприклад шляхом вимірювання пружних переміщень одної з ланок системи, фактичне значення розміру

порівнюється із заданим (еталонним). Ступінь неузгодженості (різниця між ними) разом з коефіцієнтом трансформації визначають потрібну зміну параметра режиму обробки, найчастіше - поздовжньої подачі стола, в результаті чого корегується і величина припуску, що знімається із заготовки.

### 4.3. Настройка

Під настройкою верстатних комплексів розуміють установлення певних кінематичних зв'язків між їх окремими вузлами; кінематичну підготовку верстата для виконання обробки заготовки згідно із вибраним або заданим режимом різання.

Під час проведення настройок верстата часто виникає необхідність у виконанні розрахунків передаточних відношень, для чого застосовуються рівняння кінематичних ланцюгів. Наприклад, рівняння кінематичного балансу для ланцюга руху різання верстата мод. 1730 таке

$$n = n_{дв} \cdot i_{п.п} \cdot 0,985 \cdot (z_a/z_b) \cdot i_k,$$

де  $n_{дв}$  — частота обертання двигуна;  $i_{п.п}$  — передаточне відношення пасової передачі;  $z_a, z_b$  — числа зубців змінних шестерень;  $i_k$  — передаточне відношення конічної зубчастої пари шестерень.

Настройка сучасних верстатних комплексів з програмним керуванням передбачає настройку окремих вузлів та блоків, а також системи в цілому. З цією метою використовуються спеціалізовані налагоджувальні та випробні стенди, що дозволяють проводити настройку та регулювання вузлів і блоків поза верстатом, а також вимірвальні прилади для контролю їх робочих параметрів.

Особливі труднощі під час настройки викликає забезпечення заданого розміру оброблюваної заготовки при умові максимального збільшення проміжків часу між послідовно виконуваними піднастройками. Одержання заданого розміру у певний момент часу є випадковою подією. При цьому має місце певне розсіювання випадкової величини, що залежить від великої кількості випадкових факторів і, зокрема, від миттєвого положення ланок розмірного ланцюга, одною з яких є заготовка. Тому, при настроюванні верстатного комплексу на обробку із дотриманням заданого розміру доцільно будувати точкові діаграми його розсіювання й визначати межі групового середнього значення або середньої випадкової величини. Теоретично вона обчислюється як

$$M(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x\varphi(x)dx.$$

З урахуванням впливу систематичних факторів як постійних, так і тих, що змінюються за певним законом (температурних деформацій,

зношування інструмента тощо), необхідно настроїти верстат таким чином, щоб середнє значення налагоджувального розміру наближалось до нижньої межі поля допуску на одержуваний розмір, а також, щоб період часу між піднастройками був максимально великим.



Рис. 4.2. Точкова діаграма з рядом піднастроек на заданий розмір

Точкова діаграма з рядом піднастроек на заданий розмір показана на рис. 4.2. Середнє значення розміру  $M(x)$  з часом під дією систематично діючого фактора - зношування інструмента, що змінюється за певним законом - наближається до  $M'(x)$ . Величина  $\omega_T$  — поле розсіювання налагоджувального розміру при обробці на даному верстатному комплексі. Призначуваний допуск на розмір при повному усуненні ймовірності одержання бракованих деталей повинен бути більшим поля розсіювання.

Чим більша кількість заготовок піддається пробній обробці, тим точнішим є налагодження верстатного комплексу на заданий розмір. При однаковому впливі окремих випадкових факторів закон зміни  $\varphi(x)$  звичайно близький до нормального закону розподілення

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

де  $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення, що являє собою абсцису точки перегину кривої  $\varphi(x)$ .

Однак при наявності серед випадкових факторів ряду домінуючих середнє значення поля розсіювання  $M(x)$  зміщується відносно координати середини поля розсіювання  $\nabla_\omega$  (рис. 4.3). При цьому величина  $\nabla_\omega$  визначається алгебраїчною сумою відхилень, обумовлених сукупним впливом систематичних постійних факторів і 1/2 відхилення, викликаного систематично діючими факторами, що змінюються за певним законом.

Подібний зсув характеризують коефіцієнтом асиметрії

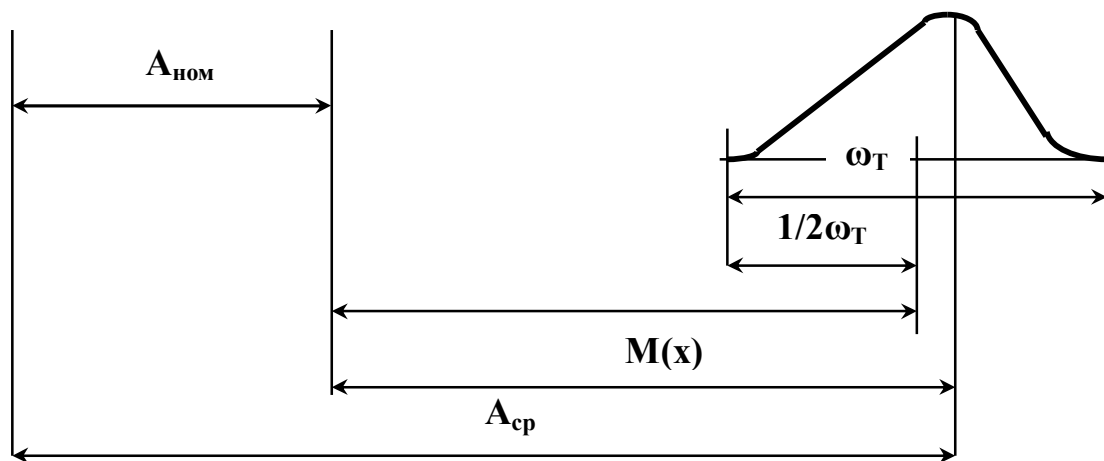


Рис. 4.3. Поле розсіювання оброблюваного розміру заготовки при наявності серед випадкових впливів домінуючих факторів

$$a = \frac{M(x) - \nabla_{\omega}}{\frac{\omega_T}{2}}$$

Таким чином, настройка на розмір верстата характеризується величиною поля розсіювання  $\omega_T$ , положенням поля розсіювання відносно номінальної величини  $A_{ном}$ , тобто  $\nabla_{\omega}$  та положенням середнього значення випадкової величини  $M(x)$  відносно  $\nabla_{\omega}$ , тобто коефіцієнтом асиметрії  $a$ . Вказані параметри дозволяють визначити час роботи системи між піднастройками.

#### 4.4. Налагодження та установлення ріжучого інструменту

##### 4.4.1. Налагодження ріжучого інструмента на розмір

Визначення положення вершини інструмента може виконуватись за допомогою спеціальних пристроїв. Інструментальний блок, що складається з ріжучого та допоміжного інструментів установлюють і закріплюють на базовій поверхні основи пристрою, форма і розміри якої відповідають формі і розмірам базової поверхні шпинделя або супорта верстата. На рис. 4.4 показаний пристрій, що має у своєму складі дві каретки, які можуть переміщуватись в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Відлік зміщень кареток проводиться за лінійками, нулі шкал яких суміщені з нулем пристосування. На верхній каретці закріплений контрольний прилад (мікроскоп, проектор, індикатор, шаблон тощо), за допомогою якого здійснюється суміщення заданого і фактичного положень вершини ріжучого інструмента.

Під час перевірки перехрестя контрольного пристрою установлюють в точку із заданими координатами (відлік проводять за шкалами лінійок). Гвинти регулювання положення інструмента притискають до базових поверхонь основи і у випадку зміщення його вершини відносно перехрестя

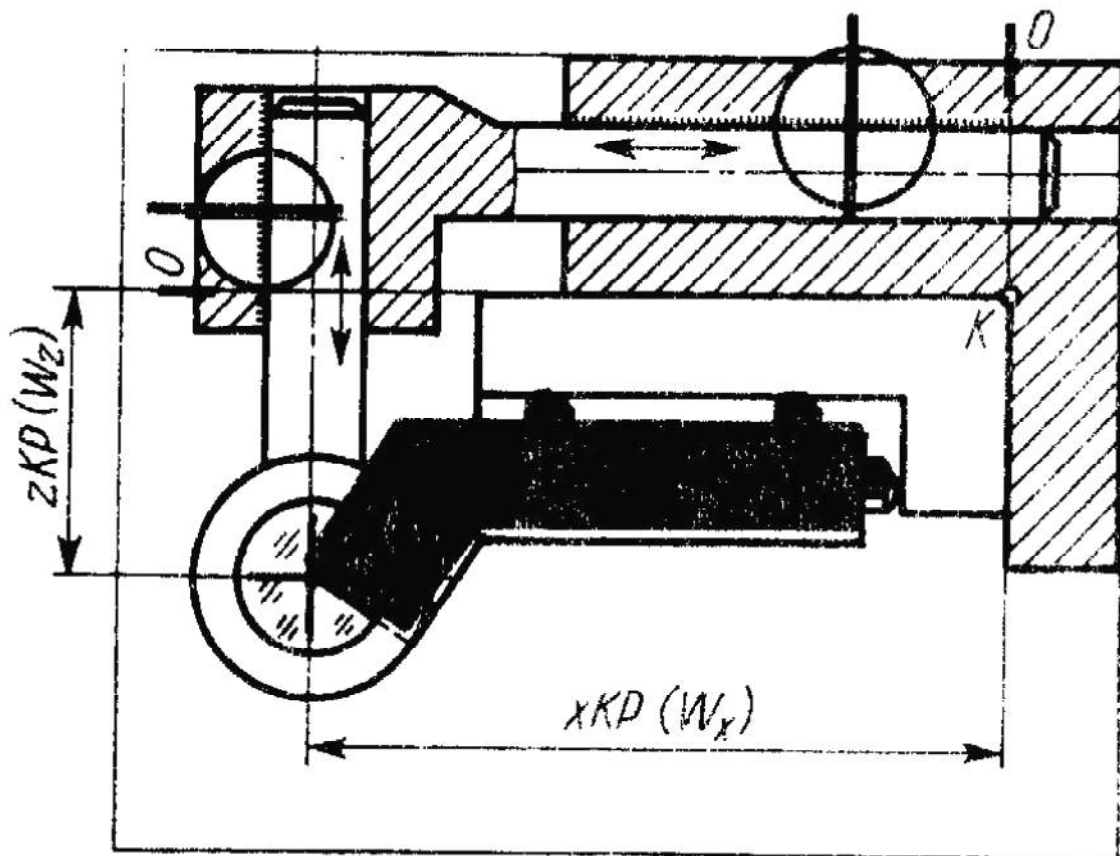


Рис. 4.4. Схема пристрою для налагодження інструмента поза верстатом

контрольного пристрою, здійснюють додаткове корегування точності налагодження. Крім цього, даний пристрій можна застосовувати для визначення координат нуля перехідників та інших проміжних пристосувань.

За допомогою оптичних пристроїв можна також контролювати геометрію ріжучої частини інструмента. На рис. 4.5 наведені зображення на екрані проектора ріжучих частин різців та свердла. Повертаючи перехрестя рухомого екрана, можна перевірити значення головного  $\phi$  та допоміжного  $\phi_1$  кутів в плані, а за допомогою концентричних кіл — величину радіусу при вершині інструмента. Аналогічно контролюється кут заточування свердла та відхилення від симетричності його кромки.

На рис. 4.6 зображена оптична система пристрою АНІС-75 для налагодження інструмента поза верстатом. Система забезпечує 10-разове збільшення зображення ріжучої частини інструмента. Інформація про напрям та величину зміщення перехрестя екрана фіксується на п'ятирозрядних табло цифрової індикації. Оптична система пристрою є за суттю епідіаскопом, який працює в світлі, що проходить. Тіньове зображення інструмента після відображення в системі дзеркал проектується на скляний матовий екран з нанесеним на ньому перехрестям. Налаштування оптичної системи здійснюється за еталоном. Час

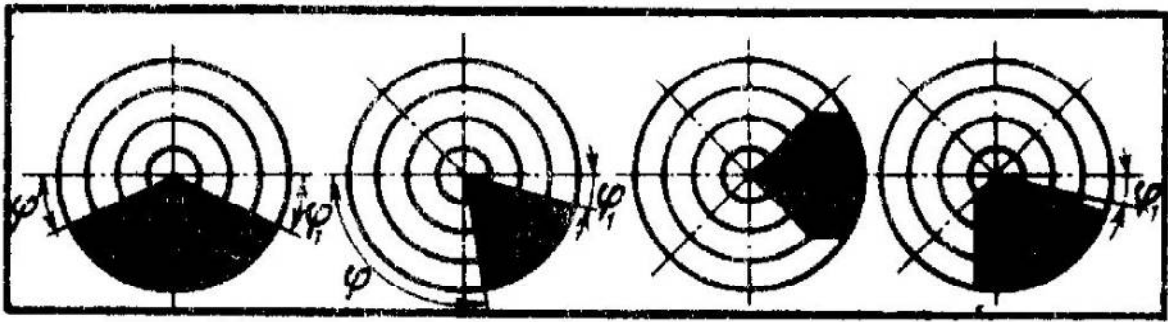


Рис. 4.5. Зображення вершин ріжучих інструментів на екрані проектора

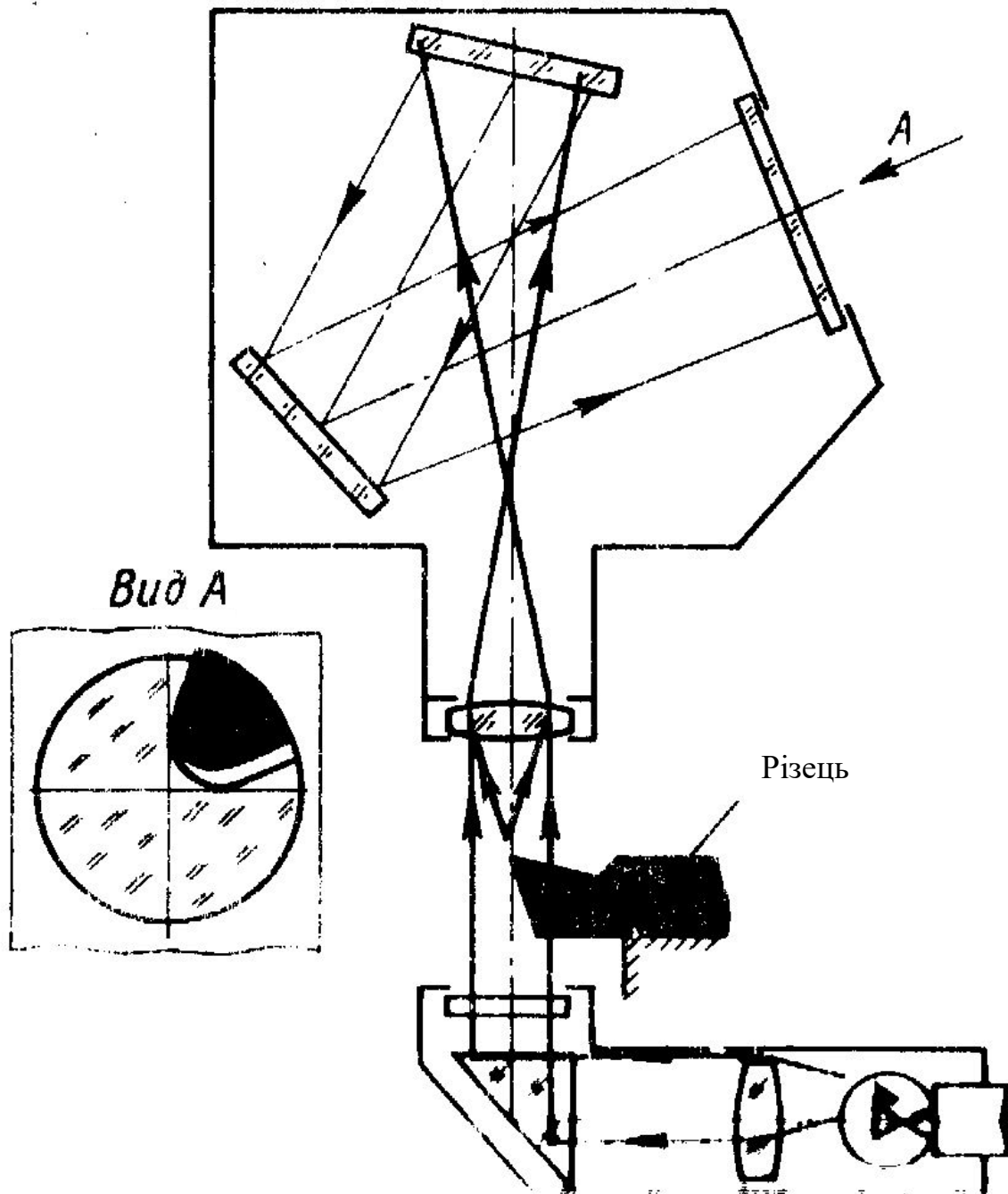


Рис. 4.6. Оптична система пристрою АНІС-75



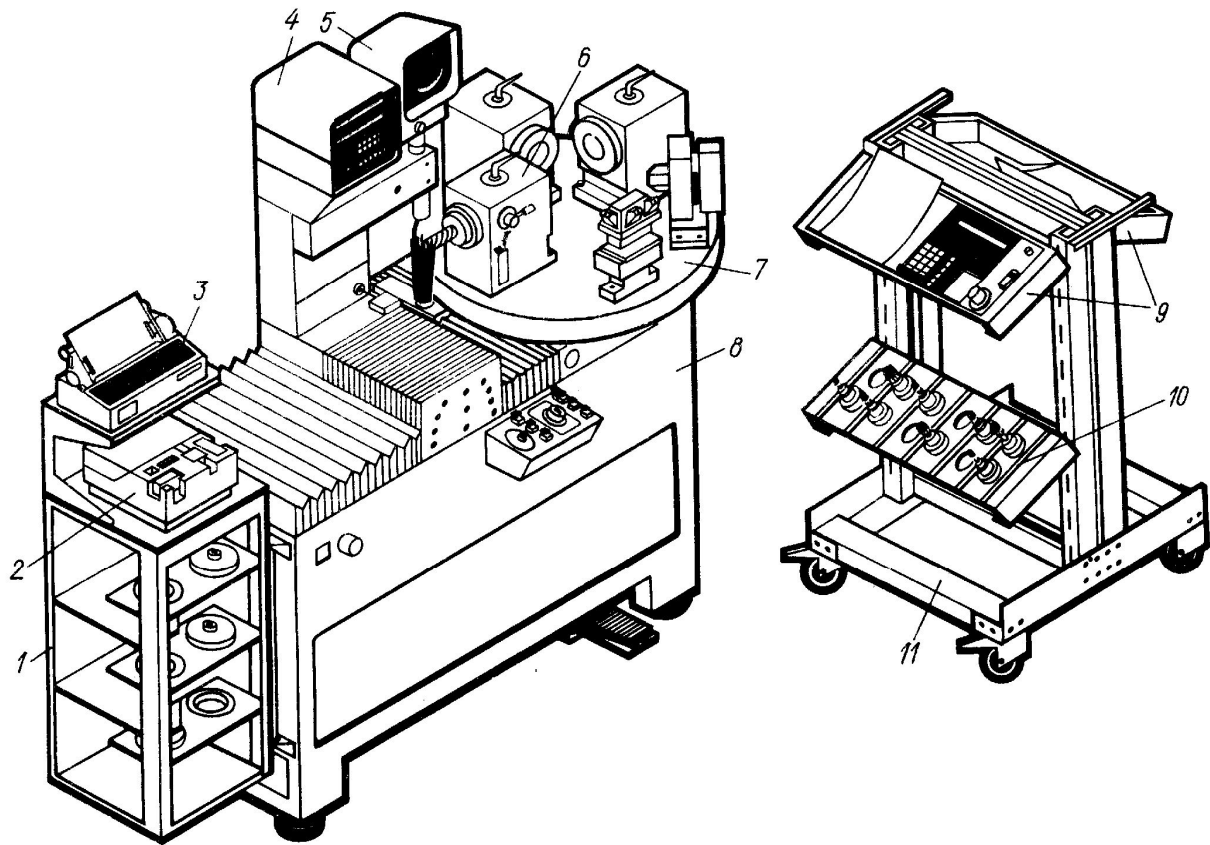


Рис. 4.7. Автоматизований пристрій для налагодження ріжучих інструментів поза верстатом

налагодження одного інструментального блока на пристрої АНІС-75 не перевищує 2 хвилини.

Автоматизований мікропроцесорний пристрій для налагодження та контролю ріжучого інструмента верстатів з ЧПК показаний на рис. 4.7. На тумбі 8 пристрою змонтований поворотний стіл 7. На столі, в свою чергу, закріплені стояки, базові отвори яких аналогічні отворам під ріжучий інструмент у виконавчих елементах верстатів з ЧПК. Окрім столу на тумбі установлені також оптичний контрольний пристрій 5 з екраном та система кодування інформації 4 на базі комп'ютера. На стелажі 1, прикріпленому до тумби, знаходяться принтер 3 та перфоратор 2.

Ріжучий інструмент, закріплений на оправках, підвозиться до пристрою на спеціальному візку 11, що має стелаж 10 для інструмента. Крім цього, на столиках 9 візка викладається необхідна для налагодження і контролю інструмента технічна документація, універсальні контрольні прилади і т.д.

Для налагодження або контролю, закріплений на оправках інструмент установлюють в гніздах стояків 6, які по черзі переміщуються в робочу позицію столу 7. В даній позиції ріжучий інструмент буде займати положення аналогічне тому, яке він займатиме у виконавчому елементі верстата перед початком обробки. За допомогою оптичного контрольного пристрою 5 визначається положення вершини (виліт) інструмента за

відповідними осями координат і разом з тим значення корекції за діаметром та довжиною. Вказані величини разом з кодом оправки та інструмента вводяться з клавіатури у пам'ять комп'ютера системи кодування. На екрані пристрою 5 відтворюється зображення робочої частини інструмента, а також вся цифрова інформація. Після перевірки всіх інструментів та введення необхідних коректив в їх положення за командою з пульта системи 4 на принтері роздруковується бланк налагодження інструмента для даного верстата. Одночасно всю інформацію про корекцію можна отримати на перфострічці, що готується на перфораторі 2. З перфострічки дані про корекцію інструмента вводять в ПЧПК верстата при підготовці його до роботи.

В умовах сучасного виробництва контроль інструмента має бути повністю автоматизованим. Звичайно його поєднують з попереднім налагодженням інструментальних блоків, з комплектацією інструментальних магазинів та обов'язковим кодуванням інструмента.

В оптико-електронній вимірювальній машині (рис. 4.8) інструмент в затискний патрон вимірювального пристрою подається з палетки промисловим роботом. Спеціальний пристрій служить для розпізнавання інструмента за його кодом. Комп'ютер, що керує процесом вимірювання викликає з бібліотеки всі дані про інструмент (число його ріжучих пластин, задані кути пластин, їх форму, розміри і т.п.).

Оптичний пристрій машини працює за принципом прохідного світла. При цьому на позиціях, заданих у програмі вимірювань визначаються не тільки довжина і діаметр інструмента, але і кут повороту.

За результатами вимірювань комп'ютер розраховує та виводить на екран монітора фактичний профіль робочої частини інструмента після чого порівнює його із заданим. При наявності відхилень (наприклад, внаслідок зношування інструмента) комп'ютер визначає придатність інструмента до подальшого використання. Після завершення контролю основні параметри інструмента, зокрема координати центру ріжучої частини та інші, передаються в пам'ять зовнішнього (цехового або заводського) комп'ютера, а також в ПЧПК, фіксуються на периферійному пристрої або з використанням спеціального коду записуються на кодоносії самого інструмента. В останньому випадку вже сам інструмент буде програмоносієм інформації про самого себе. Такий варіант вважається в наш час найбільш зручним, оскільки його реалізація дозволяє суттєво спростити систему обміну інформацією між елементами виробничого комплексу, зменшити обсяги інформаційних потоків між інструментальними складами, ділянками контролю та налагодження інструмента, системами ЧПК тощо. Крім того, застосування даного варіанта дозволяє здійснити активний діалог між ПЧПК верстатів та системами інструментозабезпечення без проміжної комп'ютерної мережі між елементами гнучкої виробничої системи.

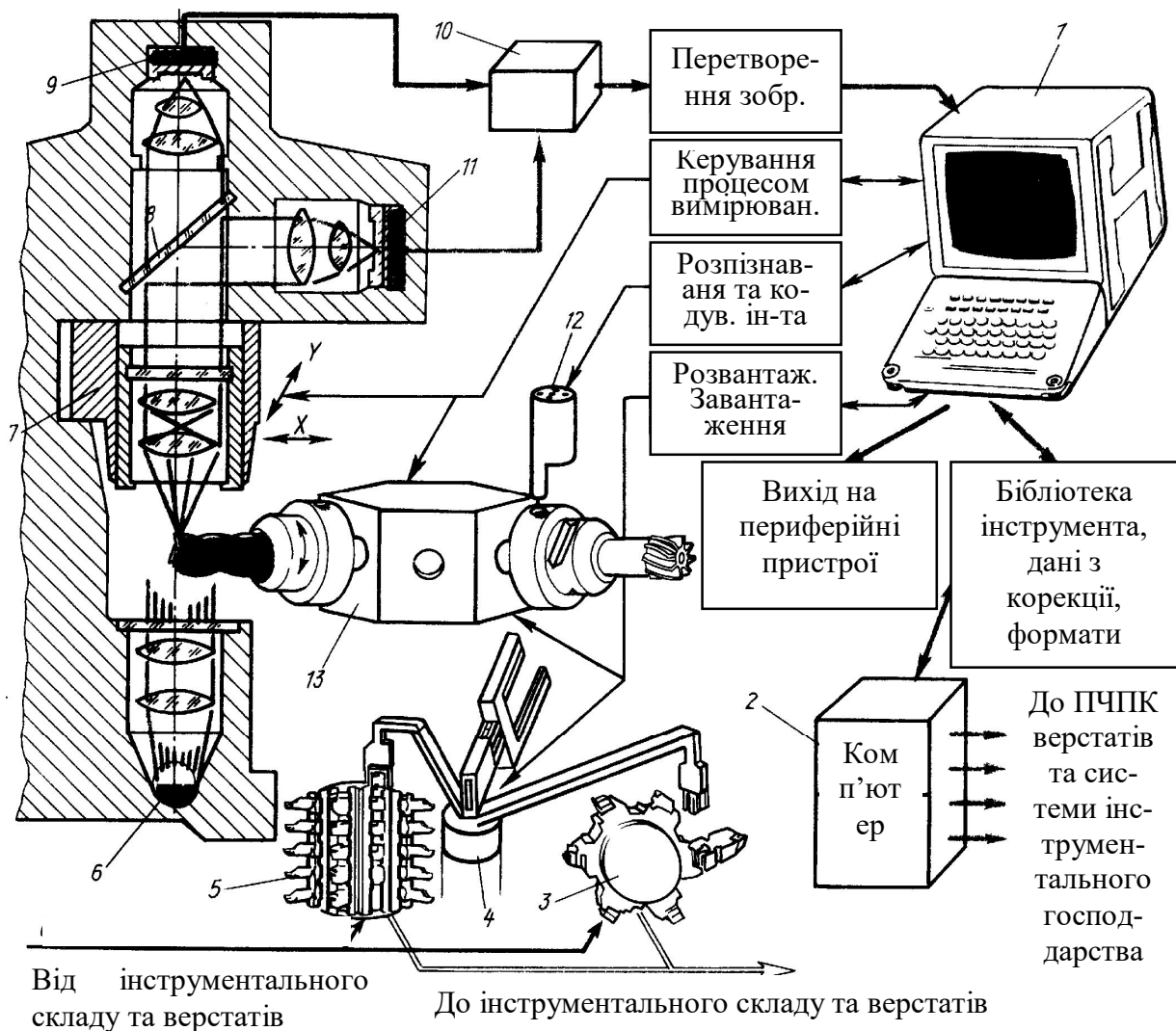


Рис. 4.8. Схема оптико-електронної вимірювальної машини, що працює в зоні перевірки і налагодження інструмента автоматизованої системи інструментального господарства (АСІГ): 1 — керуючий комп'ютер; 2 — зовнішній комп'ютер; 3 — знімна револьверна головка; 4 — промисловий робот; 5 — інструментальний магазин; 6 — джерело світла; 7 — оптичний вимірювальний пристрій; 8 — промінерозділювальний пристрій; 9, 11 — приймачі зображень; 10 — пристрій переробки та кодування зображень; 12 — пристрій кодування та розпізнавання; 13 — стояк для кріплення інструмента

Розглядуваний варіант передбачає оснащення кожного інструментального блока (рис. 4.9) індивідуальним власним носієм інформації. Останній являє собою напівпровідниковий пристрій з електрично стираною програмованою пам'яттю, оформлений у вигляді мініатюрної вставки, що закріплюється зверху в гнізді інструментального блока. Інформація на мікросхему вставки передається через п'ять контактних роз'ємів, що виведені на верхню її площину. В роз'єми під час запису або зчитування інформації входять п'ять штекерів спеціальної головки. Такими головками повинні бути оснащені прилади і пристрої

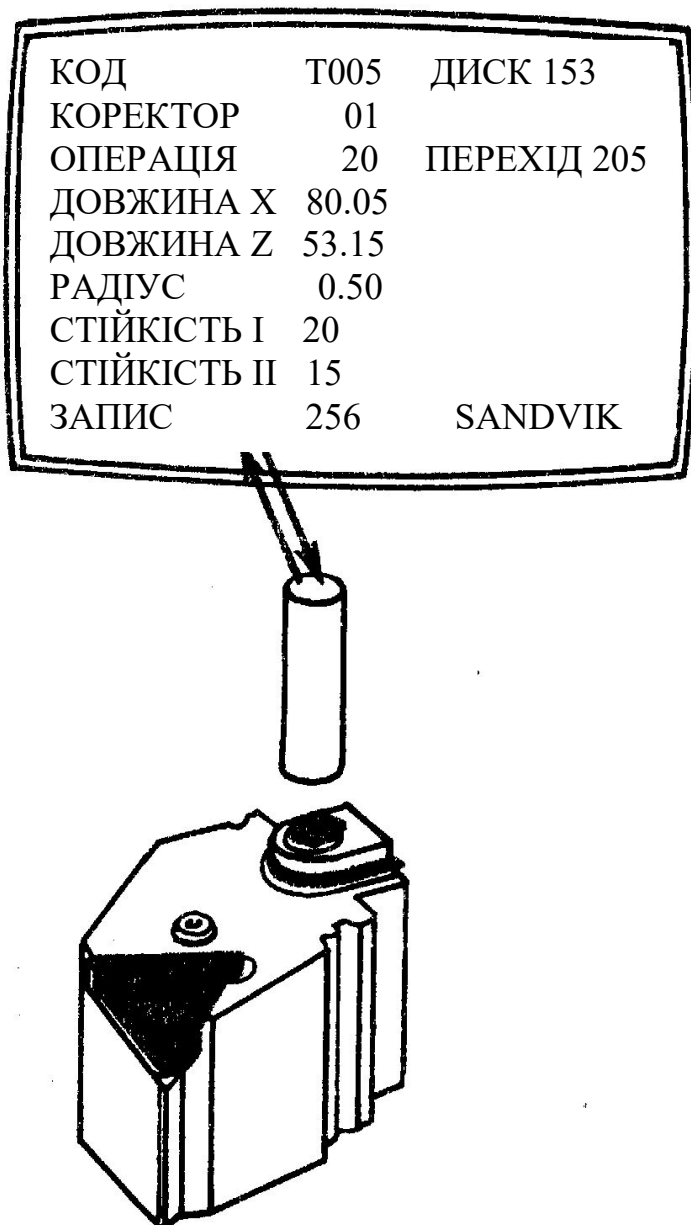


Рис. 4.9. Різцевий блок з кодовою вставкою

інструмента. Останнє сприяє децентралізації потоків інформації, що стосується інструмента, оскільки кожний верстат пов'язаний з інструментальним складом та забезпечується інструментом індивідуально (залежно від режиму та характеру роботи), обминаючи зовнішній комп'ютер.

Очевидно, що реалізація розглянутої системи кодування вимагає відповідної організації інструментозабезпечення обладнання.

контролю та кодування інструмента на інструментальному складі, ділянці підготовки та налагодження інструмента, в інструментальних магазинах кожного верстата з ЧПК.

Інформаційна місткість вставки інструментальних блоків достатньо велика. В двійково-десятковому коді на ній можна зберігати до 256 кодових цифр зі знаками плюс та мінус. Це дозволяє в кожному інструментальному блоці записати його кодовий номер, номер інструмента в керуючій програмі та номер самої програми, позицію інструмента в магазині, його розміри, розрахункову стійкість і т.д. Крім цього, в період експлуатації інструмента на вставку можна записувати різну статистичну інформацію (загальний час роботи інструмента, величини сил різання, причина поломки і т.д.), що забезпечує своєрідний зворотний зв'язок між верстатом, інструментальним складом та ділянкою підготовки

#### 4.4.2. Карта налагодження. Корегування положення ріжучого інструмента

Ріжучий інструмент під час налагодження верстата з ЧПК установлюють в шпинделі або на супорті за допомогою допоміжного інструмента і відповідно до спеціальної карти налагодження.

Така карта розробляється разом з програмою обробки для ПЧПК і використовується оператором або наладчиком (залежно від прийнятого в конкретних умовах порядку обслуговування верстатів з ЧПК). В карті повинні бути вказані: модель верстата; модель системи ЧПК; номер керуючої програми; шифр та основні параметри верстатного пристосування та використовуваних інструментів, з номерами блоків або позицій револьверної головки; дані для попереднього налагодження інструментів на розмір поза верстатом; послідовність налагодження для реалізації заданого циклу обробки; координати нуля програми (точок початку обробки) або координати нуля виконавчих елементів (їх вихідних положень).

Як приклад на рис. 4.10 приведена карта налагодження для токарного верстата моделі АТПР2М12У з ЧПК та автоматичною зміною інструментальних блоків, які зберігаються в магазині. Кожен з блоків має умовний номер і налагоджується для обробки тої або іншої поверхні (номер поверхні вказаний на блоці в дужках). Так, різцем закріпленим в блоці №01, обточується поверхня 4, різцем блока №57 розточується канавка 2, різцем блока №87 підрізається торець 7 і т.д. В карті налагодження приведені також координати  $W_z$  і  $W_x$  нуля (вершини) інструмента відносно нуля програми, що залежать від вильоту кожного конкретного інструмента, налагоджуваного заздалегідь з використанням спеціальних пристосувань відносно нуля допоміжних інструментів.

Карту налагодження звичайно складає технолог-програміст в процесі розробки керуючої програми. Оскільки при обробці на верстатах з ЧПК програмується переміщення нуля виконавчих елементів верстата, для початку роботи за програмою необхідно задати координати нуля інструмента відносно нуля виконавчого елемента, а також відносно нуля програми – точки, з якої починається програмоване переміщення інструмента.

Наприклад, якщо нуль  $F$  супорта верстата (рис. 4.11, а) до початку обробки знаходиться на заданій (початковій) відстані від нуля верстата (задається координатами  $zMF_0$  та  $xMF_0$ ), то нуль  $P$  різця №1 точно збігається з нулем  $0$  програми, який заданий в системі координат верстата координатами  $zM0$  та  $xM0$ . При цьому передбачається, що положення різця №1 в різцетримачі вивірене заздалегідь із дотриманням вильоту відносно нуля  $K$  пристосування –  $xKP$  та  $zKP$ . Тепер, якщо без повздовжнього зміщення повернути револьверну головку, виявиться, що нуль наступного інструмента – свердла (інструмент № 20) зміщений відносно точки  $0$ , наприклад, по осі  $Z$  – в мінус на 125 мм, а по осі  $X$  – в

Налагодження інструмента		Карта налагодження	Конструкторський код	Лідер	
Номер блока	W <sub>z</sub>				W <sub>x</sub>
20	-7	-125	Свердло ∞ 25, 130, P18	№74, 318, 014	1111
28	+7	-125	Свердло ∞ 50, 130, P18		
01	0	0	Різець 2102- 0005, T15K6		№ програми 125
02	+28	-15	Різець 5110- 4030, T15K6		
98	+28	-15	Різець 5110- 4086, T15K6		Модель верстага АТПР2М12У  ПЧПК 2С42
03	+28	-15	Різець 5110- 4030, T15K6		
57	+28	-10	Різець 5110- 4053, T15K6		Змінні шестерні А53  Загальна висота кулачка I = 57
04	0	0	Різець 2103- 0007, T15K6		
				Координати нульових точок	X <sub>0</sub> Z <sub>0</sub>  281      140

Рис. 4.10. Карта налагодження інструмента для обробки на верстаті з ЧПК

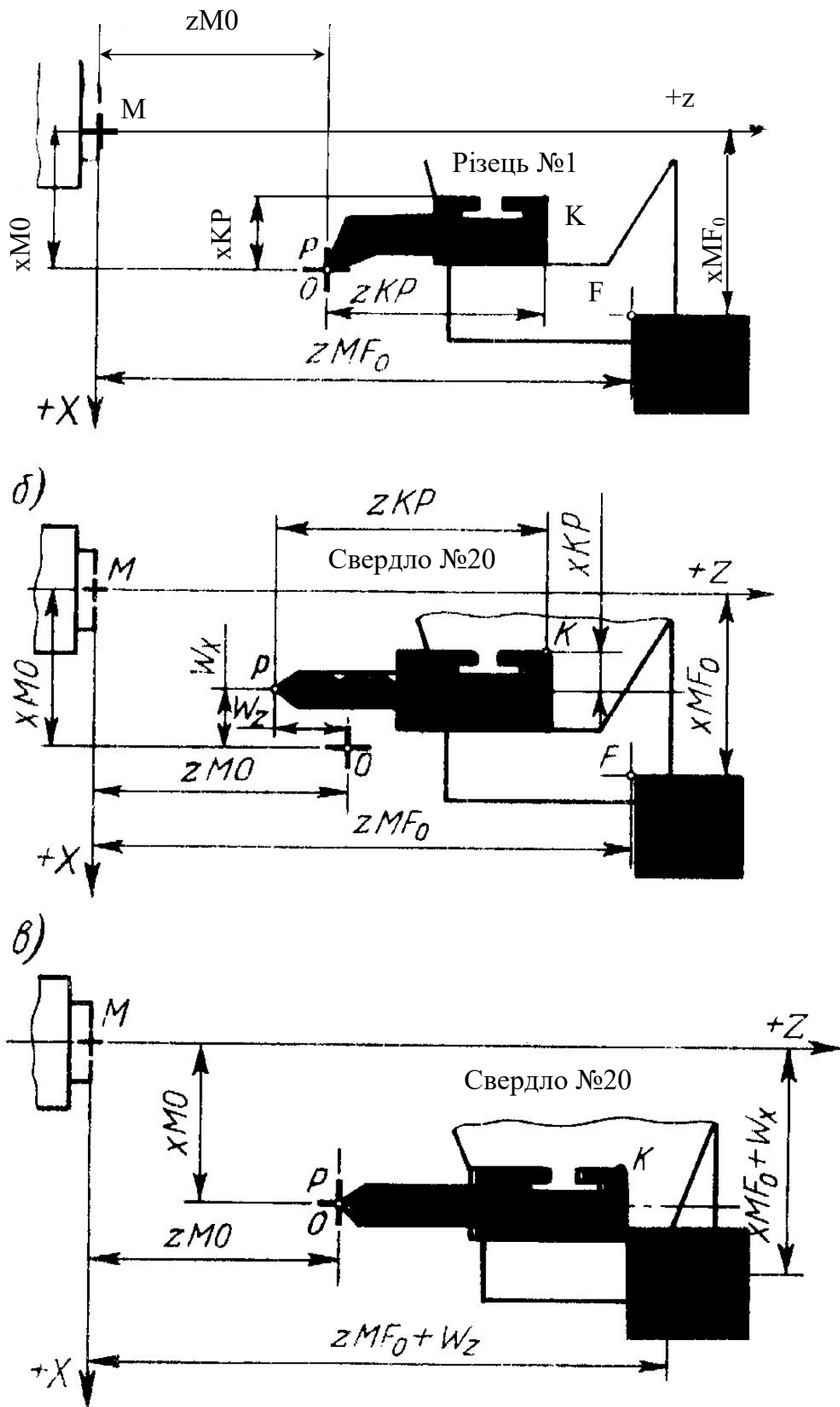


Рис. 4.11. Розміщення інструмента в системі координат верстата

мінус на 7 мм. Дані зсуви вказуються в карті налагодження (див. рис. 4.10), як величини  $W_z$  та  $W_x$ . Під час налагодження верстата їх значення вводяться в ПЧПК і далі при відпрацьовуванні керуючої програми за командою „корекція” вершина кожного наступного інструмента автоматично зміщується на необхідні  $W_z$  та  $W_x$ . Тим самим ще до початку роботи інструмента забезпечується суміщення його нуля з нулем програми і в розглядуваному прикладі (рис. 4.11, в) точка  $F$  супорта займе положення, що визначається координатами  $zMF_0 + W_z$  та  $xMF_0 + W_x$ . У ряді ПЧПК зсув (корекція) початкового положення інструмента здійснюється з пульта після набору величин  $W_z$  та  $W_x$  на декадних перемикачах [10].

Форма карт налагодження може бути різною. Як правило, для групи деталей, що схожі за конфігурацією та розмірами розробляються типові карти налагодження.

В окремих випадках, при використанні під час обробки невеликої кількості інструментів (обробка на розточувальних або фрезерних верстатах) карта налагодження у вигляді окремого документа не складається, а дані для налагодження верстата вводяться за установленою формою в текст керуючої програми.

На рис. 4.12 вказані координати та граничні точки, за допомогою яких задається положення інструмента в револьверних головках різних конструкцій.

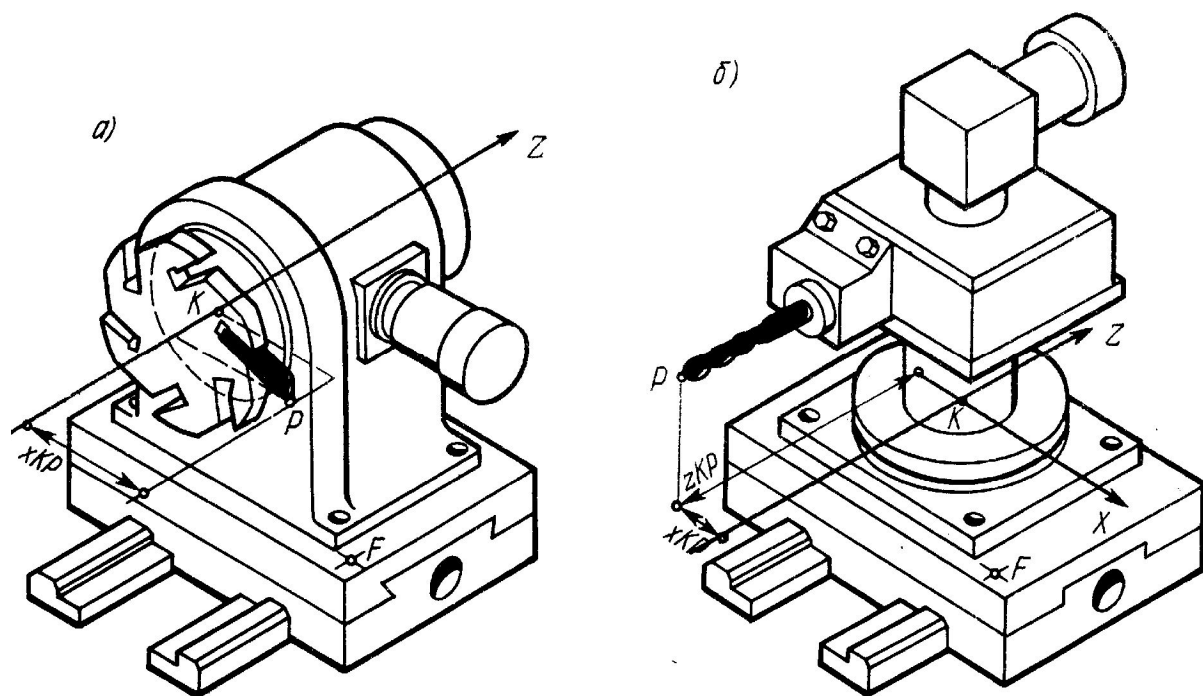


Рис. 4.12. Задання положення ріжучого інструмента відносно револьверної головки з горизонтальною (а) та з вертикальною (б) віссю обертання



#### 4.4.3. Системи інструментозабезпечення

Послідовність та тривалість процесу підготовки та налагодження інструмента повинні бути узгоджені з відповідними параметрами інших виробничих процесів, оскільки останні органічно пов'язані між собою на основі загальної єдиної системи автоматизованого інструментального забезпечення. Загальна послідовність функціонування (етапи роботи) системи інструментозабезпечення COROPLAN шведської фірми SANDVIK показані на рис. 4.13. Система на базі загального комп'ютера

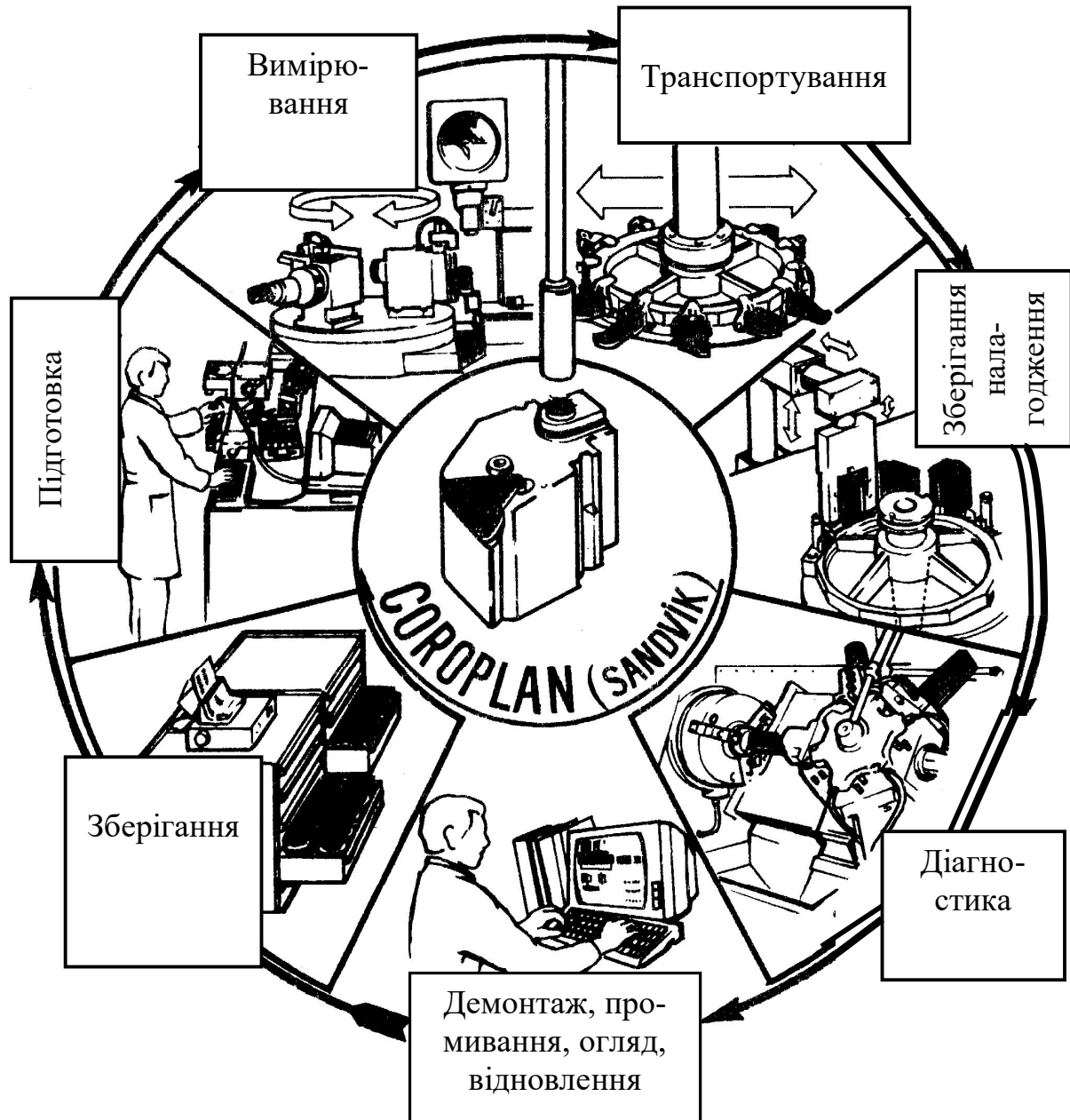


Рис. 4.13. Загальна послідовність функціонування системи інструментозабезпечення COROPLAN SANDVIK

підприємства має модульну структуру і забезпечує чіткий взаємозв'язок основних заводських підрозділів та упорядкування інструментальних потоків. В подібних системах застосовуються в основному

інструментальні блоки з електронними кодовими датчиками, а також спеціальні пристрої ідентифікації та кодування інструмента, автоматичні пристрої контролю та налагодження, системи діагностики інструмента і т.п.

Для нормального функціонування системи потрібна чітка організація роботи підрозділів, відлагоджений обмін даними між ними та керуючим комп'ютером, автоматизація частини операцій. Так, після транспортування інструмента до верстата (рис. 4.14) виконуються операції розпізнання інструмента, введення його параметрів в ПЧПК та установлення в інструментальному магазині. Під час експлуатації інструмента на верстаті (етап А) здійснюється безперервна реєстрація даних про нього: фактичний час роботи, технічний стан, значення геометричних параметрів. Отримана інформація записується в пам'ять комп'ютера ПЧПК, передається до центрального комп'ютера, крім цього, частина її фіксується на електронному кодовому датчику кожного інструмента.

Знятий з верстата інструмент проходить етап очищення та промивання (В) і далі подається на ділянку демонтажу, перевірки та відновлення (С), де після розпізнання його фактичні параметри порівнюються із заданими, крім цього, визначається придатність інструмента до подальшого використання. На цій же ділянці зношений інструмент ремонтують та відновлюють (заточують, замінюють ріжучі пластини, зношені оправки і т.п.). Ще придатні до експлуатації та відновлені інструменти передаються на центральний інструментальний склад (Е), на якому вони реєструються і зберігаються. Вся інформація про інструмент на складі використовується при розробці технологічних процесів та керуючих програм для верстатів з ЧПК. Інформація концентрується також і на центральному пункті планування та застосування інструмента (D). Тут же розв'язуються питання поповнення складу інструментом нових конструкцій, планується відновлення запасу і т.п.

На наступному етапі, через який проходить інструментальний потік, відбувається видача інструмента зі складу, його реєстрація та транспортування до ділянки попередньої комплектації, складання і монтажу (F). В ряді випадків відповідне робоче місце суміщено з ділянкою попередньої настройки інструмента (G), на якій інструмент розпізнається, проходить повний остаточний контроль та кодується. На кодовому носії записуються значення основних параметрів. Одночасно дані про інструмент передаються до центрального керуючого комп'ютера.

На проміжному складі інструментального оснащення (H) здійснюється реєстрація, тимчасове зберігання та підготовка до експлуатації комплектів інструмента (комплектація спеціальних інструментальних магазинів, змінних револьверних головок, дисків і т.п.), розподілення комплектів інструмента по верстатах, формування файла даних щодо параметрів інструментів для використання їх в системі ЧПК



(як вже вказувалось, частина цих даних може бути передана через кодові носії інструментів.)

Після транспортування повністю підготовленого інструмента до верстатів і закріплення його на виконавчих елементах коло інструментального потоку замикається.

В реальних умовах ступінь автоматизації робіт з інструментального забезпечення на окремих ділянках та під час міжділянкового транспортування може бути різною.

#### 4.5. Налаштування режимів роботи верстатів з ЧПК

##### **Види режимів**

Верстати з ЧПК можуть працювати в декількох режимах, серед яких основними є: автоматичний, напівавтоматичний, ручного покадрового введення команд в ПЧПК (переднабір) та режим ручного керування.

При роботі в автоматичному режимі програма керування, що зчитується з програмоносія, відпрацьовується верстатом безупинно до подачі однієї з допоміжних команд зупинення M00, M01, M02, M03.

У напівавтоматичному режимі після виконання кожного наступного кадру керуючої програми виконавчі елементи верстата зупиняються і далі рух подачі відновлюється тільки після натиснення кнопки „Пуск”.

Реалізація режиму покадрового ручного введення передбачає набір на пульті керування ПЧПК команд та їх подальше відпрацьовування після натиснення кнопки „Пуск”. Вводити інформацію можна за будь-якими адресами програми, але об'єм її не повинен перевищувати об'єму одного кадру (допускається введення не більше однієї команди за кожною адресою).

В режимі ручного керування механізми верстата з ЧПК приводяться в дію та вимикаються при натисканні відповідних кнопок, повороті рукояток та маховиків, так само, як і при роботі на обладнанні з ручним керуванням. Сучасні верстати з ЧПК мають звичайно два-три пульти з елементами керування та сигналізації.

##### **Елементи керування**

Для роботи в режимі ручного керування передбачені такі основні елементи керування: кнопки вмикання та зупинення шпинделя, фіксації та звільнення інструмента, заміни інструмента, перемикачі вибору інструментів, частоти обертання шпинделя, напрямку переміщення виконавчих елементів уздовж осей координат (перемикачі мають три позиції: „+”, „-”, та „0”; спрацьовування перемикача згідно із позицією „+” забезпечує переміщення виконавчого елемента уздовж відповідної осі у додатному напрямку, згідно із позицією „-”, – у від'ємному напрямку, згідно із позицією „0” - повернення виконавчого елемента до початку осі координат), перемикачі та кнопки дискретних переміщень. Крім цього, на оперативному пульті верстата є елементи керування, що здубльовані з

відповідними елементами панелі ПЧПК – кнопки „Пуск” та „Стоп”. При натисканні на кнопку „Пуск” подається команда на відпрацьовування інформації в режимах її ручного покадрового введення, напівавтоматичному та автоматичному. За допомогою кнопки „Стоп” переривається відпрацьовування тільки геометричної інформації (технологічні команди продовжують виконуватись). Практично це означає, що при спрацьовуванні кнопки „Стоп” припиняється рух подачі, а обертання шпинделя продовжується з тою ж частотою, при якій було перервано рух подачі, емульсія продовжує надходити, вся інформація зберігається в пам'яті ПЧПК.

Елементи керування, необхідні для роботи в автоматичному режимі, розташовані в основному на панелі ПЧПК і частково продубльовані на оперативному пульті керування верстатом. Всі без винятку верстати мають спеціальний перемикач, що дозволяє безступінчато регулювати запрограмовану подачу в межах 0 — 120 %, а деякі верстати – і перемикач для безступінчатого регулювання частоти обертання шпинделя.

Основними елементами керування, що забезпечують можливість підвищення точності обробки, є коректори положення осей координат, вильоту та радіусу інструментів (в ПЧПК останніх поколінь корекція вводиться в безпосередньо в пам'ять системи керування). На панелі ПЧПК коректори конструктивно виконані у вигляді набору декадних перемикачів [10]. На панелях ПЧПК токарних верстатів коректори положення інструментів об'єднані в пари – по осях **X** та **Z**, на панелях фрезерних, розточувальних і багатоцільових верстатів є також коректори вильоту та радіусу інструмента.

За допомогою коректорів шляхом зміщення вершини ріжучого інструмента можна компенсувати систематичні похибки відпрацьовування керуючої програми. Наприклад, в токарних верстатах можна компенсувати неточності налагодження ріжучих інструментів, їх розмірний знос та температурні деформації, а також нежорсткість системи ВПД.

Кожному перемикачу корекції на панелі керування привласнений свій номер. На перемикачах набираються знак та величина необхідного зміщення уздовж відповідної осі координат. Набір знаку „+” забезпечує зсув вершини інструмента у додатному напрямку осі координат, набір знаку „-” — у від'ємному напрямку. Інформація від коректора під тим або іншим номером викликається за командами керуючої програми. Величину корекції визначає наладчик за даними контролю точності налагодження інструмента на розмір до початку обробки або за результатами пробних проходів та промірів оброблених поверхонь.

### **Елементи сигналізації**

Елементи сигналізації, що розташовані на панелях та пультах верстатів з ЧПК можна розділити на три групи: оперативні сигнальні лампи, діагностичні сигнальні лампи та пристрої цифрової індикації.

Оперативні лампи сигналізують про початок руху відповідних виконавчих елементів або готовність до виконання заданого етапу циклу обробки (вмикання електроживлення верстата, ПЧПК, режиму ручного керування, підтвердження готовності до роботи пристроїв заміни інструмента, підтвердження зміщення виконавчих елементів у вихідне для початку обробки положення тощо). Деякі лампи горять у момент виконання механізмами верстата відповідних операцій і гаснуть при їх завершенні. Крім цього, оперативні лампи можуть сигналізувати про несправність або припинення нормальної роботи обладнання.

Важливим елементом сигналізації є пристрій цифрової індикації, який являє собою світлове табло, змонтоване на панелі ПЧПК. На табло висвітлюється текст програми з командами, виконуваними верстатом, чисельні значення робочих параметрів та інша необхідна інформація. Сучасні верстати з ЧПК обладнують сигнальними пристроями чотирьох основних видів: електронними індикаторними лампами, світлодіодами, проєкційними табло та електронно-променевими трубками (дисплеями). Відповідно об'єм інформації, що висвітлюється на сигнальних пристроях може бути різним: від окремих команд до повного змісту декількох кадрів. Наприклад, досить розповсюдженими є табло на шість-сім розрядів з перемикачем адрес. Шляхом послідовного „опитування” адрес, на табло можна вивести інформацію за кожною з них.

### **Програмоносій**

Одною з основних функцій ПЧПК є функція перевірки перфострічки. Дана перевірка є обов'язковою при настройці верстата і особливо у випадку відлагодження нової програми керування.

Розповсюдженими помилками, що можуть міститись на нових перфострічках верстатів з ЧПК, є помилки, наявність яких не дозволяє нормально відпрацьовувати програму. Краще за все виявляти їх в режимі „Перевірка програмоносія”, при реалізації якого на непрацюючому верстаті (увімкнений лише ПЧПК) здійснюється прискорене прочитування та перевірка інформації перфострічки. В результаті виявляються такі типові помилки: порушення парності числа пробивань в кожному з рядків перфострічки, що записані в коді ISO або непарності пробивань рядків, записаних в коді EIA; порушення правильності структури кадру (фрази); порушення нормального розташування рядків та доріжок.

Якщо через пристрій введення проходить кадр, що містить одну з вказаних помилок, подальше відпрацьовування програми припиняється і на панелі керування з'являється сигнал „Помилка зчитування” („Ввід”). У раніше справній перфострічці у зв'язку із її зношуванням також можуть з'являтися аналогічні помилки, що приводить до припинення виконання програми. Якщо зупинки рідкісні і не мають систематичного характеру, то після їх виправлення можна продовжувати перевірку програмоносія, але не з кадру, при прочитуванні якого відбулася зупинка, а з найближчого

попереднього кадру, в результаті відпрацьовування якого виконавчі елементи верстата займають вихідне положення (вершина інструмента зміщується в нуль програми) і технологічна інформація повністю відновлюється. Такі кадри називають головними; в програмі їх позначають спеціальним символом відновлення інформації.

В правильно складеній програмі керування завжди чергують серії робочих кадрів, виконуваних протягом декількох хвилин, з головними кадрами, оскільки під час роботи можуть відбуватися несподівані зупинки та перерви у реалізації автоматичного циклу.

Деякі ПЧПК можуть працювати в режимі прискореного відпрацьовування, при реалізації якого верстат виконує програму керування, в тому числі всі геометричні та технологічні команди, в швидкому темпі, що дозволяє при малих витратах часу та холостих ходах виконавчих елементів перевірити всю програму від початку до кінця.

Найбільш зручно перевіряти програмоносій на верстатах з ПЧПК класу CNC [10]. В таких ПЧПК програма, що вводиться з перфстрічки транслюється у покадровому режимі на дисплей, а контрольні системи ПЧПК забезпечують висвітлювання на екрані дисплея кодів виявлених помилок, часто навіть із зазначенням помилкових кадрів.

#### 4.6. Перевірка та відпрацьовування нової програми керування

Одним із найвідповідальніших етапів налагодження верстата з ЧПК є перевірка та відпрацьовування нової програми керування. Виконує даний етап технолог-програміст, або наладчик верстата – при наявності у нього достатнього досвіду. В ході відлагодження програми керування здійснюється її оцінювання з точки зору забезпечення максимальних продуктивності та якості обробки, стійкості інструментів, мінімальної амплітуди вібрацій, та оптимального режиму сходу стружки. За результатами спробної обробки при необхідності проводиться корегування (редагування) програми. Даний процес у найбільшій мірі вимагає глибоких теоретичних знань та творчого підходу.

Робота починається з виявлення помилок, наявність яких не дозволяє взагалі нормально реалізувати процес механічної обробки. Найчастіше у програмах керування первинної редакції зустрічаються такі основні помилки:

1) нуль програми вибраний за межами робочої зони виконавчих елементів;

2) використані у програмі технологічні команди не можуть бути виконані верстатом, наприклад, внаслідок завищення заданої довжини робочого або допоміжного ходу виконавчого елемента, частоти обертання шпинделя або подачі супорта;

3) інструменти при виконанні холостих переміщень або замінах зачіплюються за елементи верстата, кріпильне оснащення або оброблювану заготовку.

Для дотримання правил техніки безпеки помилки перших двох видів необхідно виявляти при відпрацьовуванні програми в режимі холостого ходу, без установленної заготовки, хоча це і приводить до додаткових витрат часу.

Найбільшій увазі вимагає перевірка програми на відсутність помилок третього виду, пропущення яких може призвести до виникнення аварійної ситуації. Нову програму краще всього відпрацьовувати в напівавтоматичному режимі, кадр за кадром, звіряючись з її текстом. Аварія може трапитись також при наборі невідповідної інформації на декадних перемикачах зміщення нуля та корекції.

Під час прискорених підведень інструментів до заготовки у сумнівних імовірно передаварійних ситуаціях потрібно знижувати швидкість переміщення виконавчого елемента, користуючись для цього регулятором подачі. У випадку непередбаченого зіткнення інструментів із заготовкою, нерухомими елементами верстата або пристосуванням слід натискати кнопку „Стоп подачі”, а при взаємодії інструментів з перешкодою під час їх заміни – аварійну кнопку „Стоп”.

При проведенні оцінювання ефективності програми керування слід пам'ятати рекомендації щодо розробки технологічних процесів, які реалізуються на верстатах з ЧПК. Одна з основних вимог — забезпечення інтеграції обробки, суміщення в одній операції великої кількості переходів, в тому числі і тих, що здійснюються за допомогою різних інструментів. В правильно розробленій операції реалізуються послідовні переходи від чорнової до напівчистої обробки і від напівчистої до чистої, внаслідок чого деформації, що обумовлені внутрішніми напруженнями під час попередньої обробки і одразу після неї, не відображаються на остаточній точності деталі.

Наступний етап перевірки програми керування — оцінювання оптимальності вибраних режимів різання. Під час чорнових переходів необхідно досягти максимальної продуктивності. Фактором, що обмежує максимально допустимі подачу, швидкість та глибину різання є оптимальна стійкість інструмента, при якій загальні витрати на обробку партії заготовок є мінімальними. У випадку підготовки до чистої обробки визначальну роль при виборі режимів різання відіграють вимоги до геометричної точності та шорсткості поверхонь деталі.

Крім цього, в процесі відлагодження програми необхідно перевірити відповідність закладених в ній режимів обробки характеристикам інструмента та верстата, умовам забезпечення надійності закріплення заготовки, відсутності або мінімальної амплітуди вібрацій, оптимального характеру сходу стружки.

Так, помилкою при виборі режимів обробки вважається задання у програмі такої ширини зрізу, яка перевищує довжину ріжучої кромки інструмента. Ще одне обмеження на підвищення режимів різання



визначається міцністю ріжучої частини, корпусу та інших елементів інструмента.

Силові можливості верстата характеризуються потужністю привода головного руху, максимальним обертальним моментом на кожному ступені частот обертання шпинделя, тяговим зусиллям приводів подач та вібростійкістю. Ознаками перевантаження верстата в процесі роботи можуть бути відповідні показання амперметрів, різке зменшення частоти обертання шпинделя або швидкості переміщення супорта, характерні звуки тощо.

Під час програмування складно забезпечити одночасно високопродуктивну та безвібраційну обробку. Вібрації є шкідливими, оскільки вони приводять до: викришування інструмента; ослаблення закріплення в пристосуванні оброблюваної заготовки; підвищеного зношування деталей та вузлів верстата. Про виникнення вібрацій недопустимо високої амплітуди можна судити за коливаннями частин верстата та заготовки або за характерним звуком змінної тональності, крім цього, на обробленій поверхні можуть бути помітні хвилястості та інші дефекти.

Одним з найбільш ефективних способів усунення вібрацій є зміна глибини різання — параметра, від якого в найбільшій мірі залежить значення власної частоти коливальної системи. Реалізувати даний спосіб без перероблення програми, як правило, немає можливості. Більш раціональним способом зменшення вібрацій є перевірка та максимальне збільшення жорсткості елементів системи ВПД. Починати дану роботу потрібно з контролю жорсткості закріплення заготовки в пристосуванні, жорсткості самого пристосування, ріжучих інструментів та виконавчих механізмів верстата. При цьому під час перевірки верстата першочергову увагу слід звернути на зазори в напрямних та опорах шпинделя.

Погасити вібрації можна також шляхом зміни швидкості різання та подачі. Найбільш часто вібрації виникають у випадках зрізання недопустимо тонкої стружки, у зв'язку з чим, найпростішим способом зменшення амплітуди вібрацій є збільшення подачі на оберт. Виникнення вібрацій може обумовлюватись також надмірним загостренням ріжучої кромки інструмента під час його підготовки до експлуатації, тоді як, із затупленням кромки вібрації мимовільно припиняються. У зв'язку з останнім, ще одним способом гасіння вібрацій є нарізання на ріжучій кромці інструмента спеціальної фаски, що притуплює лезо. Таку фаску шириною близько 0,1 мм виконують на передній поверхні ріжучої частини інструмента під кутом  $\alpha_1 = -15^\circ$ . Фаску можна нарізати за допомогою алмазного надфіля або абразивного бруска, не знімаючи інструмент з верстата.

При токарній обробці або свердлінні важливою ознакою оптимальності вибраних режимів різання є характер сходу стружки. Наприклад, утворення під час обробки зливної стружки представляє

загрозу для цілісності ріжучого інструмента, оскільки остання сама по собі не видаляється із зони різання. Крім цього, у випадку сходу зливної стружки утруднюється багатроверстатне обслуговування обладнання, порушуються безпечні умови роботи, оскільки оператор змушений періодично переривати автоматичний цикл і вручну видаляти стружку безпосередньо із зони різання при обертанні шпинделя верстата. Допустимою вважається стружка такої форми, при якій вона не утримується на інструменті, не обвиває його та заготовку, не пакується в отворах та не пошкоджує ріжучих кромок. Найкращою за формою з врахуванням вищенаведених вимог є подрібнена стружка.

Вирішувати проблему стружкоподрібнення можна трьома шляхами:

- 1) зміною характеру рухів виконавчих елементів;
- 2) наданням відповідної форми передній поверхні ріжучої частини інструмента;
- 3) вибором відповідних режимів різання.

Змінювати характер переміщення виконавчих елементів при обробці на верстаті з ЧПК достатньо складно. Можна лише періодично за допомогою кнопки „Стоп подачі” переривати цикл і тим самим розривати стружку. Щонайбільший інтерес викликає забезпечення подрібнення стружки шляхом здійснення правильного попереднього заточування передньої поверхні інструмента. Так, стійке стружкоподрібнення у достатньо великому діапазоні подач (0,12 — 1,0 мм/об) забезпечують фаска на передній поверхні ріжучої кромки та одна-дві стружкоподрібнювальні лунки, виконані безпосередньо за фаскою. Якщо фактична геометрія інструмента не відповідає описаній, подрібнення стружки може відбуватися тільки при умові, якщо добуток її ширини на товщину досягає деякого критичного значення. У зв'язку із цим, ще одним способом подрібнення стружки є збільшення подачі.

В процесі перевірки програми керування в ряді випадків виконують прорисовування контурів оброблюваної деталі (особливо якщо вона має складну криволінійну форму) на планшеті, який закріплюють на столі верстата замість пристосування. Для прорисовування застосовують спеціальний пристрій КД № 84-243-40, що складається з гідроциліндра, хвостовика, кришки, пружини та пишучого вузла з цангою і закріплюється за допомогою хвостовика в цанговому патроні шпинделя верстата. Пристрій може бути використаний і на фрезерних верстатах з ЧПК всіх типів та моделей, а також на багатоцільових верстатах.

В особливих випадках, при перевірках програм керування обробки складнофасонних деталей і оснащення верстата пристроєм ЧПК класу CNC, можливе виведення траєкторії оброблюваної деталі на екран графічного дисплея або малогабаритного графічного пристрою. Останнє особливо зручно для верстатів з ПЧПК класу DNC [10], оскільки програма керування може подаватись від центрального цехового комп'ютера одночасно на верстат та на контрольний пристрій.

#### 4.7. Пробна обробка деталі. Остаточне корегування програми керування

##### **Загальна послідовність пробної обробки**

Налагодження верстата завершують спробою обробкою на ньому деталі контрольної партії. Таким чином, остаточно перевіряється правильність виконання всіх попередніх етапів налагодження, а саме: ознайомлення з картою налагодження та текстом програми керування; перевірки програмоносія; підготовки, налагодження та встановлення на верстаті ріжучих та допоміжних інструментів; підготовки кріпильних пристосувань; встановлення та фіксації заготовки; встановлення виконавчих елементів в нуль програми; підготовки контрольно-вимірювальних пристроїв та приладів.

Загальна послідовність підготовчих робіт може бути такою.

1. Перевірити правильність набору на декадних перемикачах величин зсуву нуля та корекції (положення виконавчих елементів, вильоту та радіуса ріжучої частини інструмента).

2. Увімкнути електроживлення верстата та окремих пристроїв, що забезпечують його функціонування (змащення, подачі ЗОР, видалення стружки).

3. Прогріти гідравлічну систему верстата, а при необхідності виконання високоточної обробки - і шпindelьну бабку впродовж 15 – 20 хв.

4. Переключити систему керування в режим ручного керування, відвести виконавчі елементи від нуля верстата на 100 – 150 мм по кожній координаті.

5. Повернути виконавчі елементи в нуль верстата.

6. Відпустити кнопку „Видалені кадри”.

7. Переключити систему керування в режим автоматичного керування.

8. Закрити кожухи захисних засобів, спостерігати за подальшою роботою через прозорі оглядові екрани.

9. Запустити автоматичний цикл механічної обробки.

10. Після обробки перших поверхонь натиснути на кнопку „Стоп” та перервати автоматичний цикл.

11. Переключити систему керування в режим ручного керування.

12. Використовуючи перемикач дискретних переміщень, відвести ріжучій інструмент від заготовки на декілька міліметрів.

13. Виконати обмірювання оброблених поверхонь заготовки, переконатись у відповідності фактичних та заданих розмірів, а також шорсткостей.

14. Відновити взаємне розташування інструмента та заготовки.

15. Переключити систему керування в режим автоматичного керування.

16. Продовжити обробку в автоматичному режимі до повного завершення циклу.

17. Оглянути оброблену деталь, виконати всі необхідні вимірювання.

18. При виявленні тих чи інших відхилень набрати на коректорах необхідні поправки.

19. Повторити обробку в автоматичному режимі.

Наведена послідовність рекомендується при необхідності пробної обробки деталі контрольної партії, тривалість циклу якої не перевищує декількох хвилин. При більших витратах часу слід переривати автоматичний цикл після обробки кожної з поверхонь, проводити контроль, при необхідності вводити корекцію та повторно обробляти дану поверхню.

### **Корегування програми керування**

Хід виконання операцій пробної обробки та її результати дозволяють установити те, чи потрібне чи не потрібне додаткове корегування програми керування – зміна порядку виконання переходів механічної обробки, схеми базування та закріплення заготовки, використовуваних ріжучих інструментів, режимів різання тощо. У відповідності з отриманими даними технолог-програміст корегує програму керування, після чого звичайно виготовляється нова перфострічка. Далі програму керування перевіряють повторно. Якщо виявляються які-небудь збої, знов проводиться корегування та виготовляється ще одна перфострічка, і так до тих пір, поки програма керування не буде остаточно відлагоджена. При використанні верстатів, оснащених ПЧПК третього і пізніших поколінь, є можливість редагування тексту програми безпосередньо на робочому місці. Останнє в значній мірі спрощує та прискорює процес її відлагодження.

Розглянемо деякі основні налагоджувальні режими при корегуванні програми керування на верстатах з ЧПК класу CNC. Панель одного з таких верстатів зображена на рис. 4.15. В ПЧПК передбачена можливість введення програми вручну, з касети, перфострічки, телетайпа або через мережу від зовнішнього комп'ютера. У постійній пам'яті ПЧПК може одночасно зберігатись до 99 програм, індексованих номерами та з адресою P, наприклад P1, P2, P12, P35.

I. Обслуговування після вмикання. У випадку, якщо ПЧПК раніше був відключений, а також при введенні нової програми необхідно виконати такі операції (див. рис. 4.15):

- 1) натиснути двічі на кнопку 44 (вибір вихідного положення);
- 2) натиснути на кнопку 38 (вибір режиму „Точка відліку”);
- 3) вибрати осі, яких повинні досягти точки відліку (натиснути на кнопки 32 — 37).

Схема введення інформації показана на рис. 4.16, а.

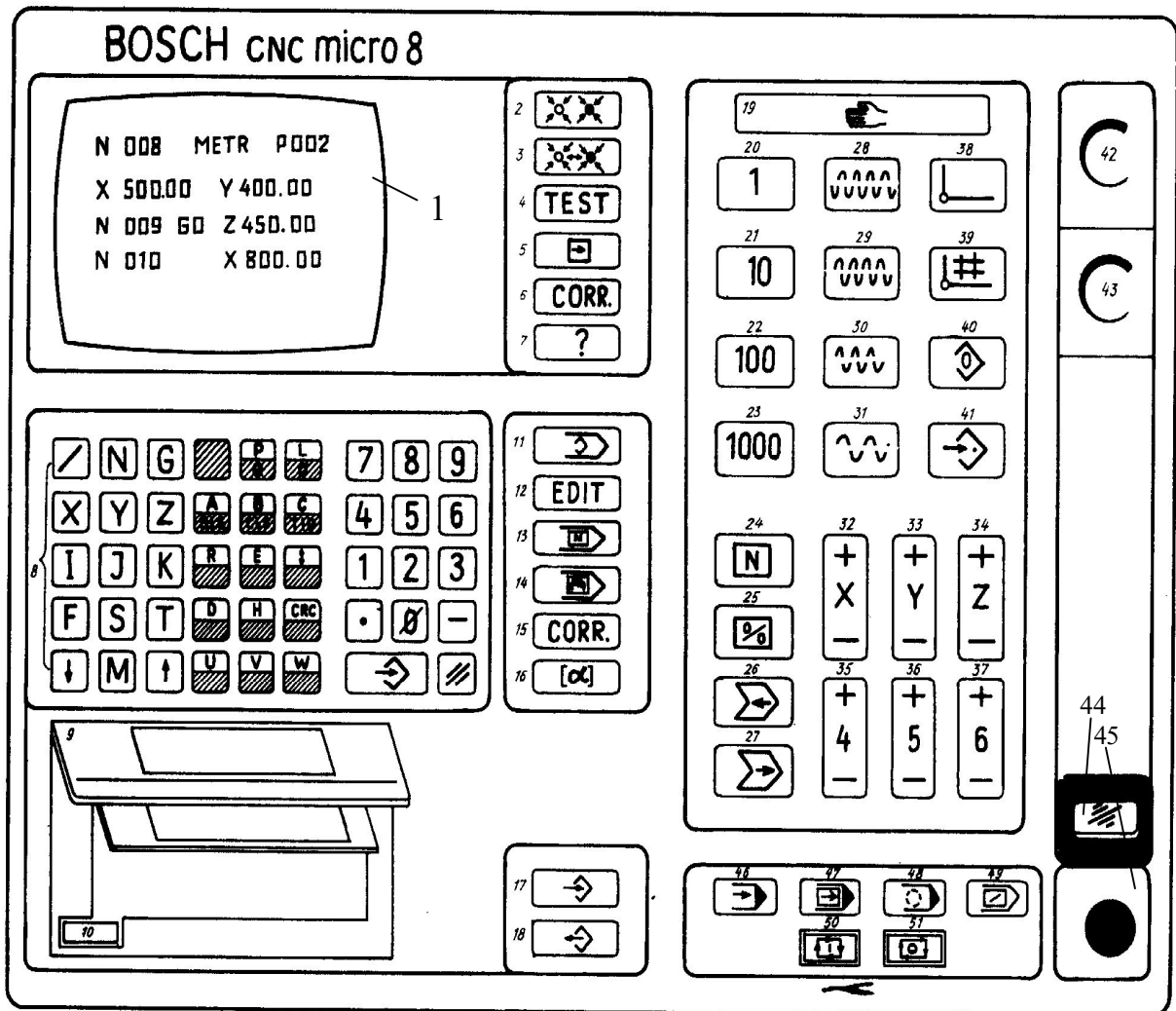


Рис. 4.15. Панель ПЧПК класу CNC: 1 — екран дисплея; 2 — виведення заданого/фактичного значення; 3, 4 — виведення заданого значення відстані та вибігу; 5 — кадри; 6 — таблиці корекцій; 7 — стан; 8 — алфавітно-цифрова клавіатура; 9, 10 — кришка касетного магнітофона та кнопка для її відкриття; 12 — програмна пам'ять; 12 — редагування; 13 — пошук кадру; 14 — ручне введення; 15 — корекція на інструмент; 16 — введення тексту; 17, 18 — завантаження та виведення програми; 19 — налагоджувальний режим; 20 — 1 інкремент; 21—10 інкрементів; 22 — 100 інкрементів; 23—1000 інкрементів; 24, 25 — перемотування стрічки вперед/назад до наступного знака кінця запису та до наступного знака початку програми; 26, 27 — перемотування стрічки в режимі пошуку назад та вперед; 28, 29, 30 — подачі: повільна, середня, швидка; 31 — прискорений хід; Напрямок переміщення: 32, 33, 34, 35, 36, 37 — +/- по осях X, Y, Z, 4-й, 5-й, 6-й; 38, 39 — підходи до точки відліку та до сіткової точки; 40 — скидання на нуль; 41 — програмування навчанням; 42, 43 — потенціометри шпинделя та подачі; 44 — вихідне положення; 45 — аварійне зупинення; 46, 47 — режими автоматичний та окремого кадру; 48 — довільне зупинення; 49 — пропуск кадру; 50 — запуск циклу; 51 — зупинення подачі;

II. Завантаження робочої програми. Касету з робочою програмою вставити в магнітофон, кришка 9 якого відкривається за допомогою кнопки 10 (див. рис. 4.15). Далі на панелі необхідно зробити таке:

- 1) переключити ПЧПК в режим введення тексту (кнопка 16);
- 2) вказати джерело введення програми (IN CAS), для чого натиснути послідовно на кнопки I і N (група 8), кнопку C та кнопку завантаження програми 17.
- 3) ввести робочу програму послідовним натисненням на кнопку P та інші.

Схема введення інформації показана на рис. 4.16, б.

III. Ручне введення одиночного кадру та його відпрацьовування. Послідовність операцій показана на рис. 4.16, в:

- 1) задають режим „Ручне введення одиночного кадру” (кнопка 14, див. рис. 4.15);

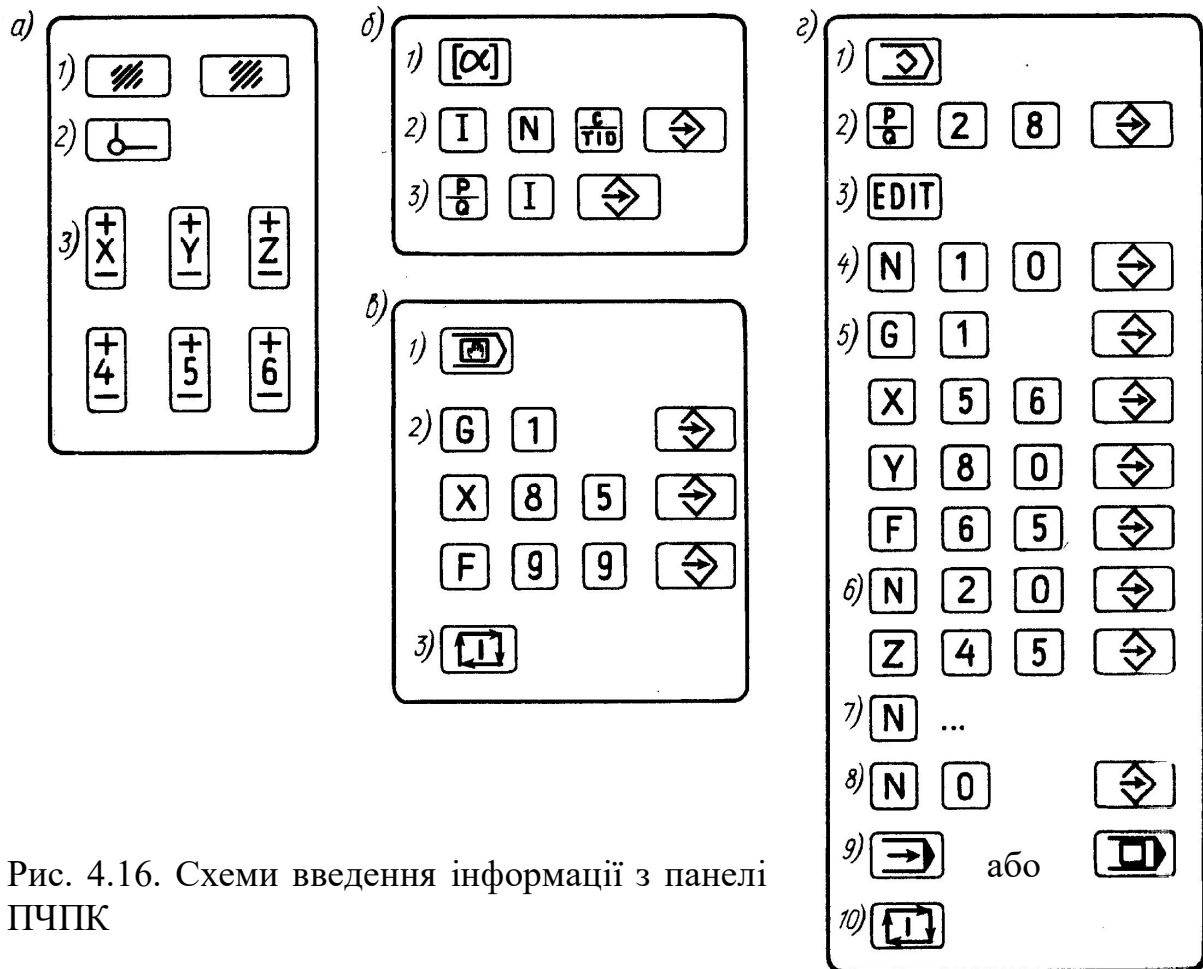


Рис. 4.16. Схеми введення інформації з панелі ПЧПК

- 2) окремими символами за допомогою алфавітно-цифрової клавіатури вводять кадр програми керування, наприклад G1 X85, F99;

- 3) натисненням на кнопку 50 (запуск циклу) вмикається відпрацьовування кадру на верстаті.

IV. Ручне введення програми обробки деталі. З пульта ПЧПК можна повністю ввести і робочу програму обробки деталі. Найчастіше вона є програмою користувача, у зв'язку з чим повинна мати певний номер, під яким програма зберігається в пам'яті ПЧПК. Порядок ручного введення програми такий (рис. 4.16, г):

- 1) задають режим „Програмна пам'ять”;
- 2) вказують номер програми, наприклад P28;
- 3) задають режим „Редагування”;
- 4) вводять номер першого кадру, наприклад N10;
- 5) вводять інформацію першого кадру, наприклад G1 X56 Y80 F65;
- 6) вводять другий кадр, наприклад N20 Z45;
- 7) вводять третій кадр і т. д.;
- 8) вводять перший (початковий) кадр N0 — початок програми, оскільки після введення програми необхідно повернутися до її початку;
- 9) встановлюють режим відпрацьовування програми: автоматичний або напівавтоматичний (покадровий);
- 10) запускають введenu програму для обробки деталі.

В процесі введення програми можна її редагувати, усувати помилково введenu інформацію, видаляти або замінювати кадри, слова, окремі символи або числові значення.

Процес редагування введених в ПЧПК програм виконується після перемикання у відповідний режим. Задають його таким чином (рис. 4.17, а):

- 1) задають режим „Програмна пам'ять”;
- 2) вказують номер програми обробки деталей, яку необхідно редагувати, наприклад P92;
- 3) задають режим „Редагування”.

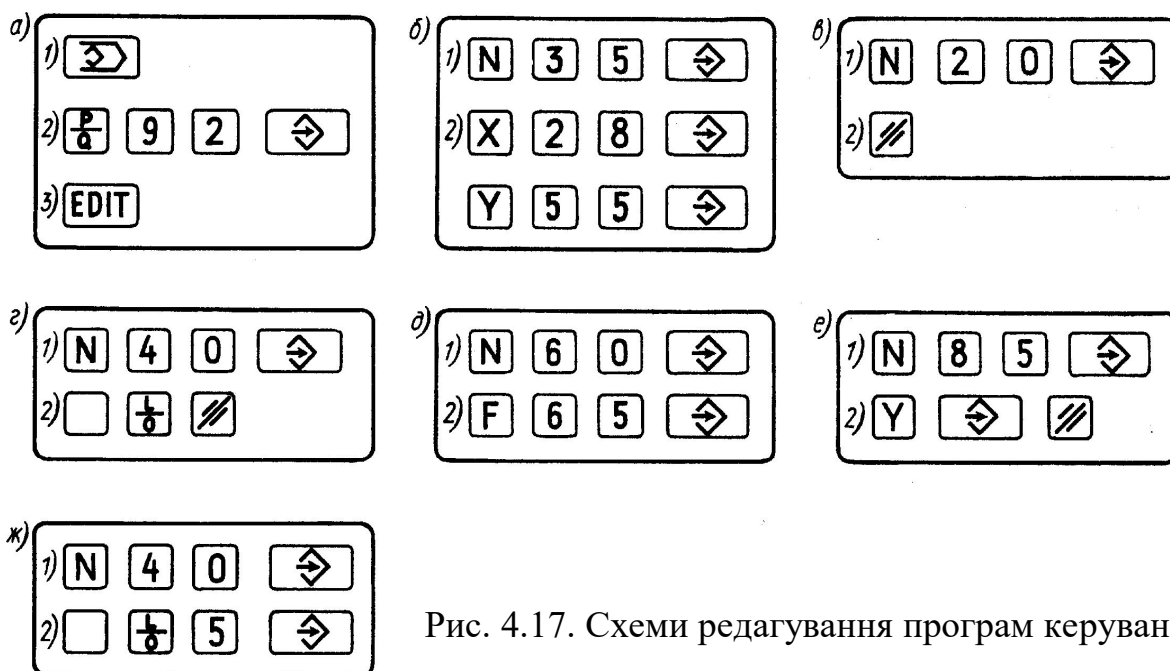


Рис. 4.17. Схеми редагування програм керування

Нові кадри включають в програму у такій послідовності (рис. 4.17, б):

- 1) вводять номер кадру, наприклад N35;
- 2) вводять інформацію цього кадру, наприклад X28 Y55.

Стирання цілого кадру без видалення його номера виконують у такому порядку (рис. 4.17, в):

- 1) вводять номер кадру, інформацію з якого треба видалити, наприклад N20;
- 2) подають команду на видалення інформації; при цьому номер кадру (N20) залишається у пам'яті ПЧПК.

Видалення з програми цілого кадру з номером (рис. 4.17, г):

- 1) вводять номер кадру, який необхідно видалити, наприклад N40;
- 2) подають команду на повне видалення кадру з програми (разом з номером). Натисненням кнопки без індексу (позиція 52 на рис. 4.15) вводять в дію нижній індекс наступної клавіші. В даному випадку це індекс 0.

Заміна слова в кадрі або його включення до програми (рис. 4.17, д):

- 1) вводять номер кадру, в якому необхідно замінити, додати або видалити слово, наприклад N60.
- 2) вводять слово, яке доповнює інформацію кадру або замінює слово з тією ж адресою. Наприклад, введене слово F65 замінює в кадрі N60 слово F... (або доповнює кадр, якщо в ньому не було інформації з адресою F).

Стирання слова в кадрі (рис. 4.17, е):

- 1) вводять номер кадру, в якому необхідно стерти слово, наприклад N85;
- 2) вводять адресу слова, що видаляється, після чого стирають його (наприклад, з кадру N85 видаляється інформація Y54).

Заміна номера кадру (рис. 4.17, ж):

- 1) вводять номер кадру, який замінюється, наприклад N40;
- 2) вводять новий номер кадру, наприклад N5, який замінить номер N40.

Після завершення всього процесу редагування необхідно ввести N0 для повернення до початку даної програми.

ПЧПК верстата може працювати і в інших режимах, при цьому під час роботи практично в кожному з них для індикації результуючої інформації використовують дисплей (рис. 4.18). Служить він також і для індикації поточної інформації. Наприклад, виведення заданого та фактичного значень координат (кнопка 2 на рис. 4.15) забезпечує покадрову індикацію великого числа параметрів, включаючи дійсні значення подачі і частоти обертання шпинделя, задане і поточне значення координат і т.д. (див. рис. 4.18).



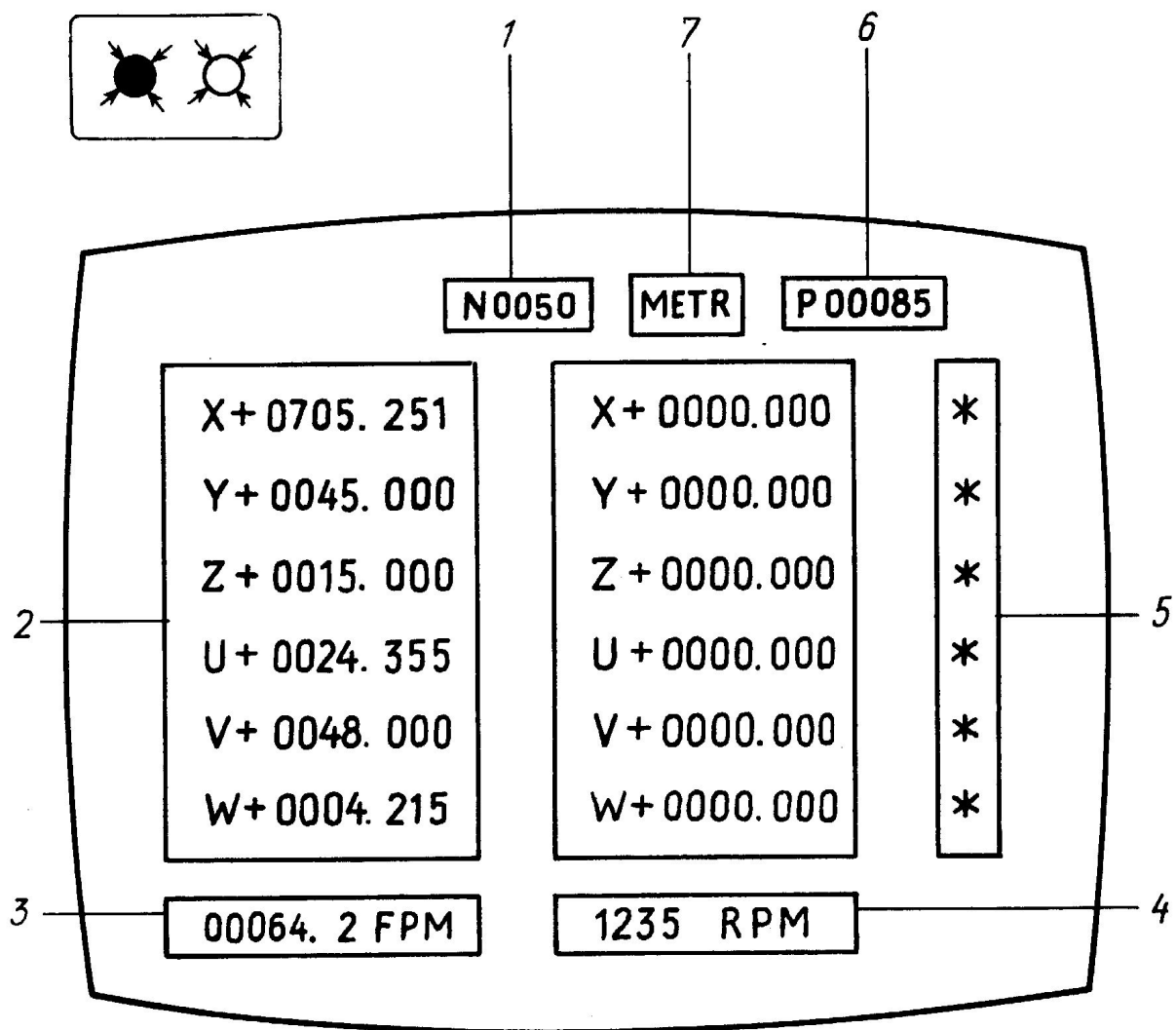


Рис. 4.18. Схема індикації інформації на дисплеї ПЧПК в робочому режимі: 1 — активний номер кадру; 2 — задане значення координат; 3 — активне значення подачі; 4 — активна частота обертання шпинделя; 5 — позиція досягнута; 6 — номер програми; 7 — індикація системи одиниць або наявності помилок

#### 4.8. Організація та проведення налагоджувальних робіт

Залежно від розмірів підприємства, кількості використовуваних на ньому верстатів з ЧПК та їх складності, форми проведення налагоджувальних робіт можуть бути досить різноманітними. При наявності на підприємстві невеликого числа обладнання з ЧПК всі налагоджувальні роботи, як правило, виконуються силами заводу-виготовлювача або за дорученням спеціалізованими монтажно-налагоджувальними організаціями, що здійснюють контрольні та налагоджувальні операції, а також обслуговують верстати з ЧПК протягом гарантійного терміну. Після завершення гарантійного терміну обслуговування проводиться силами організації-власника верстата [1]. На підприємствах, на яких кількість обладнання з ЧПК перевищує 20 - 30 одиниць і є розгалужені служби головного енергетика та головного

механіка, налагоджувальні роботи виконуються персоналом спеціалізованих централізованих лабораторій або підрозділів, підлеглих головним фахівцям підприємства.

Налагодження обладнання з ЧПК починають з організації бригади, до складу якої включають інженера-електроніка, інженера-електрика від лабораторії промислової електроніки, інженера-механіка, інженера-гідравліка від лабораторії гідروприводу та точної механіки, інженера-технолога (програміста) від служби підготовки програм, а також відповідне число наладчиків вказаних спеціальностей. Керівництво бригадою, як правило, доручають інженеру-електроніку, що має досвід організації та виконання налагодження верстатів з ЧПК. Він зобов'язаний вести журнал проведення налагоджувальних робіт, в якому реєструються зауваження щодо монтажу, налагодження, знайдених дефектів та здійснення доробок.

Верстати з ЧПК відрізняються особливою складністю електро-, гідро- і пневмоапаратури, кінематики, наявністю датчиків зворотного зв'язку, пристроїв комутації і т.п., тому робота наладчика не може бути однотипною. Проте, практично у всіх випадках доцільно використовувати деякі загальні методи перевірок працездатності верстатів з ЧПК. Визначення працездатності пристроїв, вузлів та блоків верстатів з ЧПК, їх дійсного стану, характеру зміни основних робочих параметрів в часі входить в коло задач технічної діагностики (див. 7.1). На практиці для оцінювання дійсного технічного стану об'єкта необхідно в першу чергу встановити, якими методами перевірок доцільно скористатись і що з технічних засобів з врахуванням умов експлуатації необхідне для проведення даних перевірок.

Метод спостережень є найпростішим. Він полягає в тому, що наладчик, спостерігаючи за функціонуванням пристрою або вузла верстата та оцінюючи правильність виконання всіх переходів циклу роботи, може судити про їх працездатність. Наприклад, після вмикання гідропривода верстата і переміщення шпинделя в режимі ручного керування вверх або вниз у граничне положення, що визначається попередньо установленим шляховим перемикачем, гідропривод повинен відключитись. Якщо ж вимикання не відбулось, то несправним є шляховий перемикач, ланцюг пускача або сам пускач. Якщо після натиснення кнопки „Пуск” ПЧПК „Координата С70-3” горить лампа „Збій зчитування”, то найбільш вірогідною причиною несправності є забруднення щіток зчитувального пристрою.

Суть методу усунення або локалізації основана на штучному скороченні гідравлічних, механічних та електричних зв'язків в пристрої, що відмовив, в результаті чого послідовно від'єднуються складові елементи та виявляється той елемент, що є несправним. Розглянемо послідовність реалізації даного методу на прикладі визначення несправності в кінематичному ланцюзі столу фрезерного верстата

6М13-ГН1, що складається з кулькової гвинтової пари, редуктора, електродвигуна та тиристорного реверсивного перетворювача. При від'єднанні електродвигуна від редуктора та перевірки його на холостому ході можна встановити, що саме є несправним (двигун з тиристорним перетворювачем або механічні елементи редуктора та гвинтової пари).

Застосування методу порівняння ґрунтоване на заміні елемента (вузла, блока) контрольованого пристрою відповідним справним елементом (вузлом, блоком). Якщо після заміни несправність усунена і верстат або система ЧПК стають працездатними, то дефект необхідно шукати у вилученому елементі (блоці, вузлі). Набагато складніше знайти несправність, яка у момент її виникнення не відбивається на працездатності верстата або системи ЧПК.

Послідовний метод пошуку несправності застосовують при перевірці схеми, що складається з декількох елементів, пов'язаних функціонально залежністю. При цьому на виході кожного елемента послідовно вимірюють контрольні сигнали [2, 3]. Розглянемо як реалізується даний метод при необхідності виявлення несправності в електронному блоці фазової системи ЧПК (рис. 4.19).

Наявність несправності в електронному блоці можна знайти, перевіряючи послідовно в контрольних точках за допомогою осцилографа, частотоміра та лампового вольтметра форму, амплітуду та частоту сигналу. Якщо, наприклад, після балансного підсилювача 9 рівень сигналу або його форма вийшли за межі допуску, а параметри сигналу після тригера 8 є допустимими, то несправним є балансний підсилювач. Якщо ж параметри сигналу в обох з вказаних контрольних точках знаходяться в межах допуску, то переходять до наступного елемента і т.д. Реалізація даного методу дає найбільший ефект, оскільки в цьому випадку необхідне число перевірок та час налагодження зменшуються до мінімуму.

Метод половинного розбиття використовують для перевірки систем, елементи яких (блоки, вузли) з'єднані послідовно, а ймовірності їх відмов є приблизно однаковими. Метод полягає в тому, що всю сукупність елементів першою перевіркою ділять навпіл на дві підгрупи і залежно від отриманого результату визначають, яка з підгруп є несправною. Далі на виході одного із середніх елементів несправної підгрупи знов проводять перевірку і виявляють несправну частину підгрупи і т.д.

Суть даного методу пояснена на рис. 4.20, на якому зображена функціональна схема верстата з ЧПК моделі АТПР-2М12СН. В даному випадку, після встановлення непрацездатності системи, перша перевірка Пр1 виконується на виході підсилювача потужності 5. Якщо вона дала негативний результат, тобто підсилювач виявився непрацездатним, то другу перевірку Пр2 слід виконати після інтерполятора 3. При повторному отриманні негативного результату, третю перевірку Пр3 виконують на виході фотозчитувального пристрою 2. У випадку, якщо результат негативний четверту перевірку Пр4 здійснюють після перфострічки 1 і при

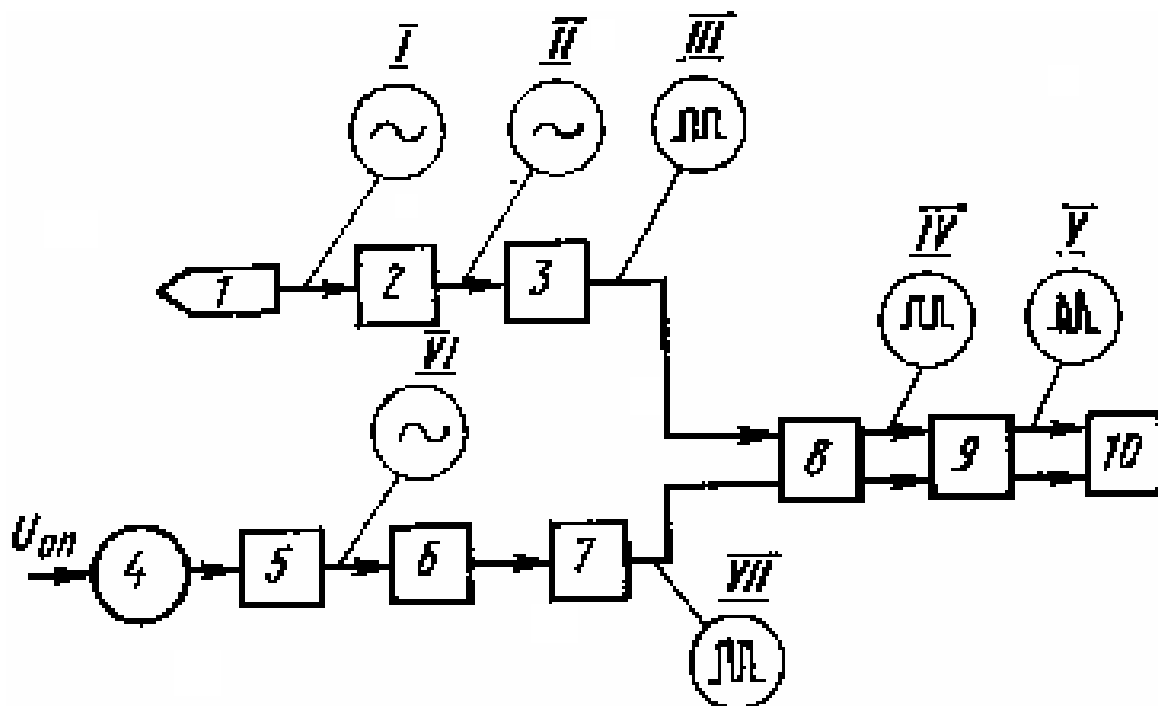


Рис. 4.19. Функціональна схема електронного блока фазового пристрою ЧПК: 1 – магнітна голівка; 2 – підсилювач зчитування; 3 – підсилювач-обмежувач сигналу керування; 4 – датчик зворотного зв'язку за положенням; 5 – підсумовуючий ланцюг; 6 – підсилювач опорного сигналу; 7 – підсилювач-обмежувач опорного сигналу; 8 – потенціальний статичний тригер (фазовий дискримінатор); 9 – балансний підсилювач; 10 – електромеханічний перетворювач;  $U_{оп}$  – величина опорного сигналу; **I** –  $U = 6,5 \pm 1,5$  мВ,  $f = 250$  Гц, похибка не більше 3%; **II** –  $U = 2,1 \pm 0,3$  В,  $f = 250$  Гц, похибка не більше 7%; **III** –  $U = 8,2 \pm 2,8$  В; **IV** –  $U = 9,7 \pm 4,3$  В; **V** –  $U = 14,5 \pm 3,5$  В; **VI** –  $U = 0,9 \pm 0,1$  В,  $f = 250$  Гц, похибка не більше 1%; **VII** –  $U = 8,2 \pm 2,8$  В

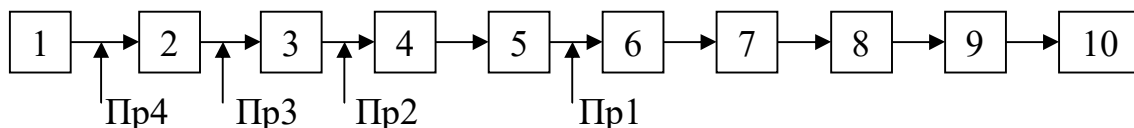


Рис. 4.20. Схема з'єднання елементів верстата з ЧПК при застосуванні методу половинного розбиття: Пр1, Пр2, Пр3, Пр4 – чергові перевірки; 1 – перфстрічка; 2 – фотозчитувальний пристрій; 3 – інтерполятор; 4 – комутатор; 5 – підсилювач потужності; 6 – форсувальні резистори; 7 – кроковий двигун; 8 – гідропідсилювач; 9 – редуктор; 10 – виконавчий елемент верстата

одержанні негативного результату виявляють, що саме в ній закладена несправність. Якщо ж перша перевірка дала позитивний результат, тобто підсилювач потужності і всі попередні елементи виявились працездатними, то другу перевірку виконують на виході крокового двигуна, і т.д. Метод середньої точки є для вказаних вище умов оптимальним оскільки при його застосуванні число перевірок, необхідних для виявлення несправності, зводиться до мінімуму [2, 3].

При налагодженні і ремонті електрообладнання, електроприводів та систем ЧПК верстатів виникає необхідність у використанні ряду електрота радіовимірювальних приладів. При цьому вибір їх типів залежить від типу верстата та системи ЧПК, а також від необхідної точності вимірювання. Для здійснення налагодження та ремонту верстатів з ЧПК може бути рекомендований перелік приладів, наведений в табл. 4.1. Технічні дані вказаних приладів можна знайти у відповідних каталогах.

Окрім вказаних в табл. 4.1 для виконання налагоджувальних та ремонтних робіт необхідні такі прилади та пристрої: векторметр - для вимірювання сили і напруги за амплітудою та фазою; прилади для вимірювання частоти обертання та лінійного переміщення (наприклад, стробоскоп СТ-4, багатомежний тахометр СК751, секундомір „Агат” і т.п.); покажчик полярності обмоток М227; індикатор іскріння для оцінювання комутації щіток ИИ-1; мілівеберметр М119 для вимірювання магнітних потоків; прилади для перевірки стану обмоток електричних машин та електродвигунів; прилади для вимірювання величин сил струмів та напруг в електричних ланцюгах (амперметри, вольтметри, мікроамперметри, міліамперметри класу 1,0); багатомежові прилади - авоомметри, вольтамперметри, тестери, самописці; при налагодженні та перевірці гідростанцій, насосів, гідродвигунів та інших вузлів і елементів гідросистем верстатів з ЧПК для вимірювання параметрів режиму роботи та параметрів гідроапаратури - манометри, датчики тиску, індикатори лінійних переміщень, спеціальні стенди і т. п

Під час виконання на верстатах з ЧПК налагоджувальних та випробувальних робіт і використанні при цьому вимірювальної апаратури необхідно керуватися правилами техніки безпеки при проведенні електромонтажних робіт, а також відомчими правилами та інструкціями, що враховують особливості верстатів з системами ЧПК.

Таблиця 4.1

Рекомендований для використання при налагодженні та ремонті верстатів з ЧПК перелік приладів

Найменування приладу	Тип приладу	Призначення приладу
Мегомметр	М1101, М1102, М4122	Вимірювання опору ізоляції електричних кіл
Міст постійного струму. Омметр	Р353, ММВ, М371, МОД61, МТВ, М57, Р316, М218	Вимірювання опору
Міст змінного струму	Р577, М16, Е8-2	Вимірювання індуктивності, ємності
Фазопоказчик	И517, Э-500	Визначення чергування фаз мережі
Частотомір	ЧЗ-1, ЧЗ-4А, ЧЗ-36	Вимірювання частоти
Осцилограф	С1-15, С1-19Б, С1-49, С1-16, С1-18, С8-9А	Визначення форми, амплітуди та частоти сигналу
Шлейфовий осцилограф	Н-102, К12-22	Реєстрація сигналу
Вольтметр	В2-25, ВК2-27, В3-40, В3-44, В3-38, В4-2, В4-12, В2-14	Вимірювання напруги, сили струму
Вимірювач параметрів: - малопотужних - потужних - польових транзисторів - інтегральних схем	Л2-22, Л2-43 Л2-42 Л2-34, Л2-38 Л2-41, ИЦИС	Вимірювання параметрів напівпровідникових приладів та інтегральних схем
Вимірювальні генератори	Г3-36, Г3-102, Г4-117, Г3-106	Дослідження в обчислювальній техніці

## 5. Монтаж, налагодження та експлуатація гідро- і пневмоприводів верстатних комплексів

### 5.1. Вимоги, що висуваються до гідро- і пневмоприводів

Працездатність гідро- і пневмоприводів верстатних комплексів залежить від умов їх роботи, які визначаються характером, величиною та періодичністю повторюваних змін робочого тиску та навантажень, температурним режимом, фізичними властивостями та чистотою робочого середовища (робочої рідини або стисненого повітря). Задані умови роботи забезпечуються раціональним вибором робочої рідини, застосуванням надійних вузлів та апаратів, правильним компонованням привода, що підвищує зручність монтажу та експлуатації, якісним виготовленням складових елементів та пристроїв і кваліфікованим обслуговуванням гідро- і пневмоприводів верстатних комплексів.

Робоча рідина, використовувана у гідросистемах верстатних комплексів виконує функцію енергоносія, забезпечує змащення поверхонь тертя гідропристроїв, а також відводить тепло від джерел його виділення.

Внутрішнє тертя в робочій рідині, що виникає при відносному переміщенні її шарів в гідролініях, каналах, щілинах гідропристроїв, називається в'язкістю. В'язкість мінеральних масел, що використовуються як робоча рідина в гідросистемах верстатів, при підвищенні температури падає, а зі збільшенням тиску - зростає. Для забезпечення оптимальної в'язкості робочої рідини необхідно, щоб її температура не перевищувала 20 – 50 °С, а робочий тиск в гідросистемі – знаходився б в межах 20 - 100 МПа.

Основною причиною погіршення властивостей робочої рідини є її багаторазове продавлювання через малі щілини контрольно-регулювальної та розподільної апаратури гідросистем верстатних комплексів, внаслідок чого відбуваються молекулярно-структурні зміни, що приводять до порушення міцності захисної плівки, утвореної на мащених робочою рідиною поверхнях тертя. Крім цього, в результаті багаторазового стиснення робоча рідина в короткий термін може втратити свої нормальні фізико-хімічні властивості.

В умовах інтенсивного перемішування в гідросистемі робоча рідина окислюється, внаслідок чого з неї випадають нерозчинні продукти полімеризації (нафтові смоли, тверді асфальти). Останні, потрапляючи в мікронні щілини гідророзподільників та інших пристроїв гідросистеми, часто викликають їх заклинювання або збільшення сили тертя при переміщенні. Частина розчинених в робочій рідині продуктів окислення при тривалій роботі гідросистеми верстата викликає корозію її складальних одиниць і деталей. Якщо при певному тиску робоча рідина виявиться надлишково насиченою повітрям, то це негативно вплине на стійкість роботи гідропривода, процесів розгону та гальмування, швидкодію і т.п.

В процесі експлуатації гідросистеми фізико-хімічні властивості та інші параметри робочої рідини постійно змінюються, у зв'язку з чим необхідно періодично перевіряти чи не вийшли вони за допустимі межі і якщо так, то робочу рідину слід терміново замінити.

Для нормальної роботи пневмоприводів стиснене повітря, що застосовується в них як робоче середовище, повинно мати температуру 0...60 °С і ступінь очищення не нижчий 10-го класу. Крім цього, повітря має бути насиченим маслом (2 - 4 краплини на 1 м<sup>3</sup> вільного повітря). Звичайний тиск повітря в пневмосистемах верстатних комплексів 0,4... 0,6 МПа.

Гідролінії та з'єднання відіграють в будь-якій гідросистемі відповідальну роль, забезпечуючи підведення робочої рідини під тиском до споживачів і відведення її у бак. Гідролінії діляться на жорсткі (звичайно металеві труби) та гнучкі (армовані шланги, гнучкі металеві рукави тощо). Для приєднання гідроліній до гідравлічних пристроїв та з'єднання їх між собою застосовують з'єднувальну арматуру, основним елементом якої є приварений до гідролінії штуцер. У зв'язку з цим, для запобігання потрапляння в гідросистему окалини та бруду зварну з'єднувальну арматуру перед остаточним монтажем ретельно очищують та промивають.

Останнім часом в гідросистемах верстатних комплексів досить широко використовують беззварні з'єднання гідроліній за допомогою штуцерів, накидних гайок, ніпелів, а також з'єднання із застосуванням кільця з гострою кромкою, виготовленого з цементованої сталі. При нагвинчуванні гайки кільце обтискається і його кромка врізається в тіло труби, забезпечуючи надійне ущільнення.

Під час експлуатації гідросистем верстатних комплексів під впливом граничних або близьких до них динамічних та статичних навантажень, можуть створюватись передумови для виникнення втомних руйнувань гідроліній та з'єднань, що, в свою чергу, приводить до витікання робочої рідини з гідравлічних пристроїв. Внаслідок цього, гідролінії, що не закріплені в колекторах, повинні монтуватись таким чином, щоб в найменшій мірі піддаватись статичним та динамічним навантаженням.

Основними вимогами, що висуваються до гідроліній, є надійне, тривале та герметичне замикання робочої рідини; мінімальне руйнування під дією хімічних або механічних впливів їх ущільнювального матеріалу; забезпечення менш частішої зміни швидкості та напрямку протікання робочої рідини і разом з тим - мінімальних та більш-менш постійних втрат напору; легкий доступ до арматури та ущільнень гідроліній, що дає змогу проводити їх швидко заміну при зносі або пошкодженні.

В гідросистемах верстатних комплексів використовують приводи об'ємного та дросельного регулювання, в яких насоси перетворюють механічну енергію, одержувану від електродвигунів, в енергію гідростатичного напору робочої рідини, а гідромотори – енергію



гідростатичного напору в роботу руху виконавчого елемента верстата. В гідроприводах верстатних комплексів в основному установлюють об'ємні насоси та гідромотори, принцип дії яких оснований на почерговому заповнюванні та спорожнюванні камер машини в результаті руху витискачів – поршнів, пластин або зубців шестерень. При цьому змінюється об'єм робочих камер та забезпечується подача робочої рідини.

Основними параметрами насосів та гідромоторів є продуктивність, робочий тиск, потужність, ККД, частота обертання та обертальний момент на валу. Значення вказаних параметрів в процесі експлуатації насоса або гідромотора повинні знаходитись в допустимих межах, наведених в паспорті гідромашини, в іншому випадку остання підлягає терміновій заміні. Для підвищення надійності роботи насосів та гідромоторів, зменшення температури нагрівання та витікання робочої рідини, максимальний тиск в гідросистемі під час її функціонування повинен обмежуватися величиною, що складає 60 - 70 % від номінального тиску, але бути не нижчим вказаного в паспорті на верстат.

Для нормальної роботи насосів необхідно, щоб ущільнення всмоктувальної гідролінії та всіх з'єднань були надійно затягнуті і не допускали потрапляння в робочу рідину повітря. Робота гідросистеми повинна проходити при достатньо високому ступені чистоти робочої рідини, оскільки у випадку її сильного забруднення на поверхнях тертя насосів та гідромоторів з'являються ризики, подряпини та інші дефекти, що приводять до збільшення витікання робочої рідини з порожнин високого тиску у порожнини низького тиску. Розташування насоса або гідромотора повинне допускати можливість його легкої заміни без необхідності демонтажу інших пристроїв.

Вся гідроапаратура, що використовується в гідросистемах верстатних комплексів, ділиться на контрольно-регулювальну та розподільну.

Контрольно-регулювальна апаратура служить для зміни тиску та продуктивності, а також для реалізації дії керування на вказані параметри. До неї відносяться зворотні, запобіжні та редуційні клапани, дроселі, реле тиску і т.п. Розподільна апаратура забезпечує зміну напрямку потоку робочої рідини і включає гідророзподільники, реверсивні клапани та крани.

Для безперебійної та надійної роботи гідросистем верстатних комплексів установлена в них контрольно-регулювальна та розподільна апаратура повинна відповідати таким основним вимогам.

1. Всі пристрої керування та регулювання гідросистеми верстата повинні бути змонтовані таким чином, щоб до них був забезпечений легкий доступ як з метою регулювання та обслуговування, так і для заміни у випадку несправності або зносу.

2. Золотники та гільзи гідроапаратів повинні перед остаточною обробкою піддаватись старінню для уникнення їх деформації або викривлення.

3. Золотники та запобіжні клапани мають бути притертими із дотриманням зазорів, вказаних в кресленнях. Овальність та конусність деталей, що притираються, не повинні перевищувати допустимого зазору. Закруглення робочих кромek не допускаються, вони повинні бути гострими і не мати задирок, забоїн або ум'ятин.

4. Не допускається заїдання золотників та клапанів. Золотник у вертикальному положенні повинен переміщатися вільно під дією сили власного тяжіння. Надійність перемикання реверсивних гідророзподільників, керованих від електромагнітів перевіряється шляхом їх багаторазового вмикання і вимикання.

5. Всі пружини в клапанах та інших пристроях повинні бути заздалегідь протаровані; їх характеристики мають відповідати розрахунковим з відхиленнями не більшими  $\pm 10\%$ .

6. Втрати тиску перевіряють при найбільших витратах робочої рідини, а сумарні витоки - при максимальному тиску.

7. Регульовальна апаратура гідросистеми верстата повинна забезпечувати постійність робочих швидкостей та прискорень його виконавчих елементів незалежно від змін навантаження, якщо останнє знаходиться в допустимих за паспортом межах.

Надійність роботи гідросистем верстатних комплексів знаходиться у прямій залежності від якості фільтрації робочої рідини. Фільтр призначений для очищення робочої рідини від механічних домішок (продуктів зносу, розкладання, корозії і т.п.), які можуть потрапити в систему під час її заливання або в процесі експлуатації. Дослідженнями встановлено, що недостатність чистоти робочої рідини є причиною приблизно 50% всіх випадків порушення роботи гідроприводу і 75% випадків підвищеного зносу та виходу з ладу насосів і гідромоторів [4, 5].

Найбільш чутливими до забруднень робочої рідини елементами гідросистем є торцевий гідророзподільник та циліндро-поршнева група, причому, як показують результати досліджень, виконавча поверхня торцевого гідророзподільника зношується інтенсивніше ніж поверхні циліндро-поршневої групи. Останнє в значній мірі обумовлене високим перепадом тиску, що створюється між порожнинами нагнітання та всмоктування гідророзподільника. Крім цього, доведено, що насоси регульованої продуктивності, в напірній гідролінії яких в процесі роботи постійно підтримується високий тиск, виходять з ладу значно швидше ніж насоси нерегульованої продуктивності.

Основним засобом захисту насосів, гідромоторів та інших пристроїв гідросистем верстатних комплексів від передчасного виходу з ладу є забезпечення високого ступеня очищення робочої рідини, що визначається найменшим розміром сторонніх частинок, які не пропускає фільтр. За

тонкістю очищення розрізняють фільтри грубого очищення, що не пропускають частинки розміром більшим 0,1 мм, нормального – не пропускають частинки розміром меншим 0,01 мм, тонкого – до 0,005 мм, особливо тонкого - до 0,001 мм. Елементами фільтрування можуть бути дротяні сітки, тканини, повстина, фетр та кераміка. Дротяні сітки і кераміку можна використовувати багато разів з періодичним промиванням їх бензином. Паперові, повстяні або фетрові фільтри при забрудненні слід замінювати новими.

В гідросистемах верстатних комплексів рекомендується установлювати по два фільтри, один - у всмоктувальній гідролінії насоса, другий - перед дроселем або в зливній гідролінії. Процес фільтрації робочої рідини супроводжується засміченням елемента фільтрування, яке при постійному перепаді тиску викликає зниження витрат робочої рідини через фільтр, а при постійних витратах - підвищення перепаду тиску. Внаслідок зростання тиску на елементі фільтрування може відбутися його руйнування і робоча рідина почне надходити в гідросистему нефільтрованою. У зв'язку з цим, необхідно очищувати фільтри не рідше 1 разу в два місяці, а при заміні робочої рідини протягом перших двох-трьох днів роботи верстата фільтри рекомендується промивати щодня. Втрати тиску в гідросистемі при фільтруванні робочої рідини не повинні перевищувати допустимих величин, інакше фільтр необхідно замінити новим.

## 5.2. Монтаж гідро- і пневмоприводів

Основні відомості про загальну послідовність та зміст робіт, що виконуються при монтажі гідро- і пневмообладнання промислових роботів, автоматичних ліній та гнучких виробничих систем, наведені у розділі 1. Окрім вказаних необхідно виконати такі операції:

- за принциповою схемою наведеною у паспорті верстата перевірити правильність складання гідросистеми; проконтролювати відповідність змонтованої апаратури технічним вимогам, правильність її установлення, закріплення та приєднання до гідросистеми;

- забезпечити герметичність з'єднань – при необхідності додатково затягнути різьбові кріпильні елементи, замінити ущільнення або негерметичні з'єднання (перевірку герметичності виконувати при максимально допустимому тиску робочої рідини);

- внутрішні поверхні баків, резервуарів, картерів ретельно очистити від бруду, промити гасом та перевірити (наявність ворсинок на внутрішніх поверхнях баків недопустима);

- ретельно перевірити стан заливних та повітряних фільтрів;

- залити в баки чисту, заздалегідь профільтровану робочу рідину (робочу рідину заливають в гідросистему двічі – до та після початкового пуску, причому обидва рази заливання здійснюється при мінімальному тиску для уникнення розчинення в робочій рідині повітря; крани

установлені в найвищих точках гідроліній мають бути відкриті, накидні гайки арматури послаблені для виходу повітря);

- змастити поверхні тертя гідрофікованих механізмів;
- перевірити стан блокувань, а також положення виконавчих елементів всіх приводних механізмів для запобігання їх мимовільному переміщенню під час спробного пуску;

- в режимі поштовху при короткочасному натисканні кнопки „Пуск” перевірити напрямок обертання валів електродвигунів та насосів приводів;

- шляхом короткочасного вмикання насосної станції заповнити гідролінії робочою рідиною (при цьому гідророзподільники та гідропанелі слід перемикаєти вручну для запобігання підсосу в гідросистему повітря); після заповнення гідросистеми з метою компенсації зниження рівня в баці долити в нього робочу рідину;

- перевірити роботу гідросистеми на холостому ході і в налагоджувальному режимі; при наявності недоліків визначити за гідравлічною схемою апарат або апарати, несправність яких може бути причиною неполадок, після чого провести їх огляд, перевірку в роботі і у випадку необхідності - ремонт (роботу гідросистеми слід перевіряти послідовно за переходами циклу);

- через 4 години після заповнення гідросистеми робочою рідиною випустити з неї повітря (протягом вказаного часу електродвигуни насосів можуть бути вимкненими, а для запобігання розчиненню в робочій рідині повітря запобіжні клапани мають бути настроєні на мінімальний тиск). Повітря з гідроліній та гідроциліндрів необхідно випускати в такому порядку: повністю відкрити крани, установлені в найвищих точках гідроліній; послабити накидні гайки на кінцях гідроліній; настроїти запобіжні клапани на мінімальний тиск, необхідний для переміщення поршнів гідроциліндрів з максимальною швидкістю на всю довжину ходу; увімкнути електродвигуни насоса і перемкнути вручну 10 - 12 разів з інтервалом 1...2 хв електромагніти гідророзподільників для зміни напрямку переміщення виконавчих елементів (обкатку гідросистеми проводити до тих пір, поки після повного виходу з неї нерозчиненого повітря з кранів не піде чиста - без бульбашок - робоча рідина); закрити крани, затягнути накидні гайки та долити робочу рідину в бак до верхньої позначки маслопоказчика.

Монтаж пневмоприводів необхідно виконувати з врахуванням таких вимог:

- з метою усунення розповсюдження утворюваного в пневмомашині конденсату (вологи) далі по пневмосистемі, приєднання відвідних пневмоліній до пневмоциліндрів та інших пневмопристроїв слід здійснювати зверху; для збирання конденсату у відстійники, пневмолінії від установки для осушення повітря до групового фільтра, а також від останнього до фільтра тонкого очищення монтуються з нахилом у бік, протилежний напрямку подачі повітря;

- відстійники розташувати в декількох точках пневмолінії, що з'єднує установку для осушення повітря та груповий фільтр; відвідні патрубки відстійників для забезпечення кращого витікання з них конденсату виконати нижче з'єднувальної пневмолінії; всі пневмолінії змонтувати з нахилом в напрямку подачі повітря (3...5 мм на 1 м довжини).

### 5.3. Налагодження гідро- і пневмоприводів

Послідовність налагодження гідро- і пневмоприводів верстатних комплексів так само, як і послідовність монтажу достатньо детально розглянуті у розділі 1. В цьому розділі наведені в основному рекомендації, що стосуються налагодження та підготовки до експлуатації окремих машин, апаратів та елементів гідро- і пневмоприводів.

Гідравлічні та пневматичні приводи верстатних комплексів повинні забезпечувати задані чутливість, точність та швидкодію при достатній стійкості роботи як на номінальних так і на граничних режимах. Вказані вимоги можуть бути дотримані тільки при якісному налагодженні гідро- або пневмосистеми, яке, в свою чергу, зводиться до налагодження окремих машин, апаратів та елементів із забезпеченням їх чіткої взаємодії.

Під налагодженням складних гідравлічних та пневматичних приводів розуміють виконання комплексу робіт, що включає вивчення технічної документації та опису роботи гідро- або пневмосистеми верстата, підготовку та пробний запуск, регулювання тисків та витрат, перевірку взаємодії гідравлічних або пневматичних пристроїв в робочому циклі при подачі команд вручну, в налагоджувальному та автоматичному режимах, а також при обробці еталонної деталі. Розглянемо більш детально виконання деяких з вказаних етапів налагодження.

Після ознайомлення з послідовністю роботи гідро- або пневмопривода необхідно на принциповій схемі та в конструкції самого верстата знайти насоси, гідромотори, контрольно-регулювальну та розподільну апаратуру. Згідно із описом робочого циклу слід простежити шлях робочого середовища від насоса до двигуна, а також від двигуна до бака або вихлопного патрубку. При цьому установлюється розташування всіх редуційних, запобіжних, напірних та зворотних клапанів, дроселів, регуляторів витрат, через які проходить робоче середовище і за допомогою яких забезпечується робочий режим привода. Одночасно на принциповій електричній схемі та схемі керування приводом потрібно знайти елементи керування та регулювання (гвинти затягування пружин клапанів, рукоятки зміни площі прохідного перерізу дроселів, кнопки вмикання та аварійної зупинки електродвигуна). Крім цього, необхідно звернути увагу на правильність монтажу з'єднувальних гідро- або пневмоліній, їх цілісність та герметичність.

Перед початковим пуском гідропривода верстата необхідно перевірити чистоту гідроліній та бака, після чого, при необхідності, залити або долити в останній потрібну кількість робочої рідини заданої марки.

Перші декілька літрів залитої робочої рідини потрібно одразу ж злити. Заливання слід проводити до рівня, що знаходиться дещо вище позначки маслопоказчика, оскільки при запуску гідропривода рівень робочої рідини в баці понизиться.

Регульовальні гвинти редукційних, запобіжних та напірних клапанів повинні бути відпущені, а зворотні клапани – повністю відкриті. Короткочасним натисканням на кнопку „Пуск” вмикають електродвигун привода насоса і переконуються у правильності напрямку його обертання (звичайно вказується стрілкою на корпусі насоса або електродвигуна). Після цього насос запускається у постійну роботу.

За допомогою манометрів проводять контроль тиску у нагнітальній гідролінії насоса підживлення (якщо він є). Далі шляхом регулювання клапанів настроюють величину тиску підживлення, що вказана в описі робочого циклу. Якщо гвинт з пружиною клапана не забезпечують задане підвищення тиску, під пружину установлюють додаткові шайби або втулки. При наявності в гідросистемі реле тиску його роботу перевіряють до вмикання насоса, а після вмикання останнього за допомогою регульовального гвинта установлюють межу тиску, що контролюється реле.

Настроювання заданого для гідросистеми робочого тиску здійснюють, затягуючи за допомогою регульовального гвинта пружину напірного гідророзподільника та періодично перевіряючи за манометром тиск у нагнітальній гідролінії. Тиск спрацьовування реле установлюється на 0,3 – 0,5 МПа вищим ніж номінальний робочий тиск в гідросистемі, а тиск спрацьовування запобіжного клапана – вищим на 0,5 – 0,7 МПа.

Якщо в процесі налагодження або початкового пуску виявлені порушення нормальної роботи гідросистеми, то пробувати усувати їх шляхом підналагодження регульовальних пристроїв не рекомендується. Потрібно з'ясувати, чи не обумовлені дані порушення несправностями насоса або гідромотора. Можливі несправності в насосах і гідромоторах, найбільш ймовірні причини, що їх обумовлюють, а також способи усунення несправностей наведені в табл. 5.1 [3, 4, 5, 6, 7].

Випробовування гідро- та пневмоприводів верстатних комплексів є одним з найважливіших способів контролю їх технічного стану як під час проведення налагоджувальних робіт, так і в процесі подальшої експлуатації. Випробовуванню можуть підлягати окремі агрегати або повністю складені системи. Перевірку відповідності агрегатів вимогам та технічним умовам, що наводяться у супровідній документації часто проводять на спеціальних стендах. При відсутності стендів агрегати можуть піддаватись контрольним та типовим випробовуванням на верстаті при від'єднанні на час експериментів всіх інших пристроїв гідро- або пневмосистеми.

## Можливі несправності насосів та гідромоторів

Несправність	Причини	Спосіб усунення
Насос не подає робочу рідину в гідросистему	<p>Низький рівень робочої рідини в баці</p> <p>Засмічення всмоктувальної гідролінії або фільтра</p> <p>Підсос повітря у всмоктувальній гідролінії</p>	<p>Долити робочу рідину до позначки маслопоказчика</p> <p>Прочистити засмічені елементи</p> <p>Ретельно герметизувати гідролінію, а при наявності механічних пошкоджень (тріщин, пробоїн) замінити її</p>
Недостатньо високий тиск у нагнітальній гідролінії	<p>Поломка насоса</p> <p>Надмірно велика в'язкість робочої рідини</p> <p>Насос не подає робочу рідину внаслідок одної з вищерозглянутих причин</p> <p>Знос насоса (великі внутрішні витоки, в корпусі насоса, обумовлені раковинами, порами; насос має зовнішні витоки по валу)</p> <p>Великі витоки в гідролініях або у вузлах гідросистеми</p>	<p>Замінити насос</p> <p>Замінити робочу рідину</p> <p>Способи усунення розглянуті вище</p> <p>Перевірити продуктивність насоса вхолосту і під навантаженням і у випадку необхідності (при недопустимому зниженні ККД) замінити насос</p> <p>Усунути витоки</p>
Підвищений тиск у нагнітальній гідролінії на холостому ходу	<p>Підвищені втрати тиску в гідроприводі, обумовлені сплющуванням гідроліній</p> <p>Надмірне затягування клинців або планок напрямних верстата їх недостатнє змащення, наявність задирок на напрямних</p>	<p>Замінити гідролінії</p> <p>Відрегулювати затягування напрямних, увімкнути систему їх змащення або усунути задирки</p>

Несправність	Причини	Спосіб усунення
Підвищене нагрівання робочої рідини в гідросистемі	Підвищені втрати тиску в гідросистемі  Несправності в системі охолодження  Насос не розвантажується в період пауз	Перевірити якість монтажу гідроприсроїв, замінити пошкоджені пристрої та гідролінії Перевірити систему охолодження, настроїти терморегулятор Перевірити роботу розвантажувальних пристроїв
Гідромотор стукає при обертанні в одному напрямку	Недостатній підпір на зливі гідромотора	Відрегулювати підпірний клапан
Гідромотор не обертається при подачі до нього робочої рідини	Ротор гідромотора відтискається внаслідок зносу або задирок розподільних поверхонь, заїдання поршнів, тугої посадки ротора або підшипників Недостатній тиск в гідросистемі	Замінити гідромотор  Спосіб усунення аналогічний тому, що розглядався при несправності системи охолодження

### 5.3.1. Рекомендації з налагодження гідромашин та гідроапаратури

#### **Насоси**

Неспіввісність валів насоса та електродвигуна, що з'єднуються еластичною муфтою, не повинна перевищувати 0,3 мм.

Швидкість робочої рідини у всмоктувальній гідролінії має складати не більше 2 м/с, що забезпечується відповідним вибором площі її поперечного перерізу.

Запобіжний клапан у нагнітальній гідролінії потрібно відрегулювати на тиск, що не перевищує максимальний тиск, створюваний насосом. Для збільшення терміну служби насоса, рекомендується експлуатувати його при тиску у нагнітальній гідролінії, який є на 20 - 30% меншим максимального. Експлуатація насоса є не допустимою, якщо колова швидкість його валів перевищує вказану в паспорті.



Перед пуском нового або відремонтованого насоса необхідно спочатку залити його чистою робочою рідиною і кілька разів повернути вал вручну.

### **Силіві гідроциліндри**

Для запобігання нерівномірному переміщенню механізмів, що приводяться в рух від гідроциліндра, потрібно перевірити правильність його установлення відносно напрямних станини або столу (допустиме відхилення від паралельності напрямних та штока гідроциліндра по всій його довжині повинно відповідати значенням, вказаним у паспорті).

Перевірити зусилля затягнення планок та клинців напрямних.

Проконтролювати відсутність перекосу ущільнень штоку гідроциліндра (у випадку необхідності відрегулювати затягування фланців ущільнень).

Послабити затягування пневмоспускних пробок та випустити з гідроциліндра повітря.

### **Розподільна та контрольна-регулювальна гідроапаратура**

Під час випробовувань гідроапаратура повинна відповідати таким вимогам:

- чітко та безвідмовно працювати на всіх режимах, забезпечувати робочий цикл гідропривода у повній відповідності з його описом та з принциповою схемою;

- перед запуском гідросистеми елементи керування гідроапаратури повинні знаходитись у своїх вихідних положеннях, а за наявності фіксаторів - надійно фіксуватися;

- елементи керування під час зміни в межах установлених режимів напрямку або тиску робочої рідини повинні переміщуватись вільно, без поштовхів та зупинок;

### **5.4. Експлуатація гідро- та пневмоприводів**

Надійна робота гідроприводів в процесі експлуатації забезпечується завдяки своєчасному та якісному виконанню операцій планового та непланового технічного обслуговування, при цьому мають бути дотримані такі вимоги.

Щоденно перед початком роботи необхідно контролювати рівень робочої рідини в баках, положення індикаторів всмоктувальних фільтрів та тиск, що показують манометри. Слід щомісячно промивати сітчастий патрон всмоктувального фільтра, щорічно замінювати робочу рідину у баках (при інтенсивній експлуатації - через кожні 6 - 8 місяців).

Перед заміною робочої рідини потрібно ретельно очистити бак від бруду та промити його гасом; після заміни робочої рідини всмоктувальний фільтр протягом перших трьох робочих днів прочищати щоденно. Залити або доливати попередньо профільтровану робочу рідину

потрібно тільки через заливний фільтр. Герметичність водяного теплообмінника перевіряється при порожньому баці шляхом пропускання через нього води під тиском не нижчим 0,3 Па. Для запобігання перегріванню робочої рідини в баці не слід тримати ввімкненими електродвигуни насосів при непрацюючих приводних механізмах. Якщо робоча рідина з гідросистеми виходить назовні через ущільнення потрібно негайно провести їх заміну. Необхідно регулярно контролювати тривалість заданого робочого циклу верстатів та їх окремих механізмів.

В процесі експлуатації гідропривода не допускається: ручне переміщення золотників керування; утримання баків відкритими; робота з використанням зіпсованих манометрів.

Під час експлуатації пневмоприводів необхідно виконувати такі операції технічного обслуговування: щоденно зливати конденсат з відстійників; щоденно очищувати фільтри від бруду; регулярно стежити за показаннями та станом манометрів, роботою маслорозпилювача; щоденно очищувати та висушувати фільтри повітроочисних станцій пневматичних контрольних пристроїв та автоматів; для запобігання витоків повітря з пневмосистеми періодично підтягувати гайки в з'єднаннях пневмоліній.

## 6. Монтаж, налагодження та експлуатація електроприводів та електропристроїв верстатних комплексів

### 6.1. Загальні відомості з монтажу електроприводів та електропристроїв

Крім вказаних в розділі 1 основних вимог з монтажу електрообладнання верстатних комплексів рекомендується враховувати ряд додаткових.

Монтаж, налагодження та експлуатацію електроприводів та електропристроїв повинні виконувати електрики IV - V розряду, з класифікаційною групою техніки безпеки не нижчою III.

В електроприводах верстатів-автоматів потрібно використовувати тільки мідні проводи у полівінілхлоридній або поліетиленовій ізоляції різних кольорів: чорного - для силових кіл; червоного - для кіл керування змінного струму; синього - для кіл керування постійного струму. Під час монтажу слід звертати увагу на цілісність ізоляції (відсутність пошкоджень), якість паяння дротів та надійність приєднання їх до затискувачів. Необхідно ретельно контролювати стан проводів в джгутах в та наявність на них маркувань.

Джгути прокладаються у металевих трубах, металорукавах, гнучких пластмасових трубах та спеціальних коробах, внутрішні поверхні яких для полегшення протягування джгутів злегка змащуються солідолом.

### 6.2. Загальні відомості з налагодження електроприводів та електропристроїв

Налагодження електрообладнання після завершення електромонтажних робіт рекомендується виконувати в такому порядку:

- перевірити відповідність виконаного монтажу технічній документації та діючим технологічним нормам;
- перевірити якість робіт, наявність попереджувальних знаків напруги, індексів елементів електрообладнання, заземлення;
- перевірити справність замків електрошаф та автомата введення;
- впевнитись у цілковитій відповідності захисних засобів (нагрівних елементів теплового захисту та інших) вказаним на схемах технічним умовам;
- перевірити електричний опір між основним заземлювальним болтом (до якого приєднана шина контуру цехового заземлення) та кожним електропристроєм, що працює під напругою більшою 48 В - опір не повинен перевищувати 0,1 Ом;
- за допомогою автомата введення, при поступовому збільшенні напруги провести перевірку відсутності коротких монтажних замикань між проводами та замикань проводів на землю;
- перевірити справність аварійної кнопки "Стоп";

- шляхом короткочасного натискання налагоджувальних кнопок перевірити правильність напрямку обертання валів електродвигунів і у випадку необхідності змінити його;

- перевірити роботу всіх елементів керування та сигналізації, а також дію блокувань (виконується шляхом імітації можливих відмов в колах шляхового контролю);

- разом з наладчиком настроїти електроприводи та електропристрої на роботу в заданому режимі з врахуванням вказаних у паспорті верстата додаткових вимог та умов.

### 6.2.1. Перевірка електродвигунів постійного струму

Загальна послідовність перевірки електродвигунів постійного струму головного руху та рухів подачі включає операції зовнішнього огляду, вимірювання опору обмоток постійного струму, вимірювання опору ізоляції обмоток відносно корпусу та відносно одна одної, випробування ізоляції обмотки якоря, спробного пуску.

Зовнішній огляд двигуна починається з вивчення паспортних характеристик, вказаних на щитку та перевірки відповідності їх заданим.

Далі перевіряють надійність ізоляції обмоток. Особливу увагу звертають на щітковий механізм (між його пластинами не повинно бути бруду, пилу від графітних щіток, масла, лаку тощо), а також на колектор, биття якого має знаходитись в межах 0,02...0,025 мм (перевіряється індикатором).

Щітки в обоймах повинні переміщуватись вільно без хитання. Зазор між щіткою та обоймами в напрямку обертання має складати 0,1...0,4 мм, а в поздовжньому напрямку - 0,2...0,5 мм. Нормальний тиск графітних щіток на колектор повинен бути не меншим 0,015...0,018 МПа, мідно-графітових - 0,022...0,025 МПа.

Перед ввімкненням двигуна щітки ретельно притирають до колектора.

### 6.2.2. Перевірка трифазних асинхронних електродвигунів

Під час перевірки асинхронних електродвигунів головного руху та подачі верстатних комплексів здійснюють: огляд щітків, підшипникових вузлів, вихідного кінця вала, вентилятора, контроль кріплень проводів, затискачів, величини осьового переміщення вала, яке не повинне перевищувати 2 мм, цілісності та опору ізоляції обмоток. Опір ізоляції вимірюють мегаомметром перед пробним пуском двигуна на холостому ході, а потім періодично під навантаженням в процесі його роботи (навантаження повинно бути не нижчим вказаного в паспортних даних двигуна). Під час роботи електродвигуна перевіряють також відсутність вібрації корпусу, поштовхів струму, нагрівання підшипників та обмоток.

Електродвигуни приводів подачі та стеження можна перевірити не знімаючи їх з верстата на холостому ході при розімкненому

кінематичному колі або на стенді; випробування під навантаженням проводять на стенді, оснащеному електромагнітним гальмом та динамометричним пристроєм.

Перед випробуванням визначають відповідність привода паспортній технічній характеристиці, контролюють якість складання, правильність маркування, наявність запасних комплектуючих частин тощо.

Працездатність привода перевіряють під напругою, що складає  $0,85 \cdot U_n$ , ( $U_n$  - номінальна напруга) - контроль здійснюють за допомогою регульованого трифазного трансформатора. Визначають можливість обертання двигуна в обидві сторони при подачі на вихід перетворювача сигналу керування різних полярностей.

Напругу вимірюють вольтметром з точністю до 1,5%. Перевіряють працездатність двигуна при тривалому навантаженні, максимальній частоті обертання, номінальній напрузі живлення та температурі навколишнього середовища ( $20 \pm 5$ ) °C.

При номінальній частоті обертання встановлюють навантаження привода струмом, значення якого  $T$  відповідає максимально допустимому тривалому моменту  $M_d$ ; методом опору визначають зростання температури обмотки електродвигуна. Частоту обертання вимірюють за допомогою лічильника обертів або цифрового вольтметра, приєднаного до вмонтованого тахогенератора.

Значення струму навантаження вимірюють амперметром з точністю не нижчою 1,5%. Максимальну частоту  $n_{max}$  обертання двигуна визначають при номінальній напрузі живлення, напрузі керування +10 - 10 В, температурі навколишнього середовища ( $20 \pm 5$ ) °C і навантаженні струмом, значення якого складає  $0,5 \cdot I_d$ ; перевірку виконують протягом 1 хв. Значення вимірюваної частоти обертання не повинне відрізнятись від величини  $n_{max}$ , вказаної в паспорті, більше ніж на  $\pm 2\%$ .

Після загального контролю перевіряють якісні характеристики привода на статичних режимах, похибки частоти обертання при зміні значення струму навантаження, напруги живлення, температури, сумарні похибки, похибки при зміні напрямків обертання, коефіцієнт нерівномірності обертання.

Після перевірки та регулювання електродвигунів з використанням вищеописаних методів контролюють їх роботу в складі всього електропривода, що може включати також перетворювач, підсилювач, пульт керування, пускач тощо.

### 6.3. Експлуатація електроприводів та електропристроїв. Безпека праці

В процесі експлуатації електрообладнання потрібно керуватися діючими правилами та нормами, обов'язковими для всіх промислових підприємств. Описи відмов електрообладнання та їх можливі причини обов'язково реєструються у відповідному журналі. За результатами аналізу

причин у неробочу зміну приймаються рішення про ремонт або заміну електроапаратури. Окрім усунення відмов електрообладнання в обов'язки електрика входить спостереження за температурою працюючих електродвигунів та сигналізацією, контроль надійності заземлення, забезпечення захисту електроапаратів від стружки, бруду, масла, ЗОР.

Верстатнику та інженеру цеху слід пам'ятати про деякі основні правила технічної експлуатації електроприводів та електропристроїв.

Так, електрошафи, коробки затискачів, ніші станин, коробку та пульт керування необхідно тримати закритими.

Кришки вимикачів та кожухи електромагнітів повинні бути надійно закріплені. Електроконтактні пристрої мають забезпечувати бездугову комутацію електричних кіл під навантаженням.

Під час профілактичного огляду потрібно очистити контакти, продути шафи від пилу та замінити зіпсовану електроапаратуру. Ремонт несправної електроапаратури безпосередньо в електрошафі забороняється.

### **Безпека праці**

Будь-яке налагодження електрообладнання необхідно виконувати при вимкненому рубильнику (автоматі) з вивішуванням таблички на ньому "Йде налагодження".

Налагодження електрообладнання та усунення його несправностей повинен здійснювати кваліфікований електрик. Перед початком налагодження потрібно впевнитись у надійності з'єднань корпусів всіх електроапаратів зі станиною верстата. На опорній поверхні станин обладнання не повинно бути фарби або інших покриттів, в іншому випадку елементи електрообладнання необхідно заземляти. Обов'язковою є періодична перевірка справності з'єднань верстатів із заземлювальною шиною цеху.

Перед запуском верстатного комплексу в роботу наладчик повинен дати попереджувальний звуковий сигнал і, впевнившись у відсутності людей в робочій зоні обладнання, через 1...2 хв увімкнути його.

## 7. Діагностика верстатних комплексів

### 7.1. Мета і задачі технічної діагностики

Останнім часом стали більш жорсткими вимоги до оперативності, вірогідності та глибини технічної діагностики верстатного обладнання. Застосування комп'ютерної техніки дозволило суттєво підвищити її ефективність та полегшити проведення ряду діагностичних процедур.

Метою технічної діагностики верстатних комплексів є одержання своєчасної та точної інформації про їх технічний стан та ресурс. Дана інформація використовується при проведенні планових та непланових операцій технічного обслуговування, а також при виконанні ремонтів.

Для досягнення вказаної мети при реалізації заходів технічної діагностики розв'язується ряд задач, серед яких основними є [2]:

- підтримання заданих умов технологічного процесу (забезпечення технологічної надійності обладнання);
- попередження виходу з ладу обладнання шляхом його своєчасного зупинення в аварійній ситуації;
- прогнозування дефектів, що проявляються поступово для уточнення термінів виведення обладнання в ремонт та попередження аварій;
- контроль параметрів регулювання механізмів та підвищення його якості;
- перевірка якості ремонту обладнання;
- усунення або зменшення негативного впливу технологічного обладнання, середовища та відходів на виробничий персонал.

До завдань технічної діагностики, що розв'язуються при запуску нових верстатних комплексів відносяться:

- вибір критеріїв оцінювання якості здійснюваних технологічних процесів та технічного стану обладнання;
- визначення раціональної тривалості обкатки для кожної одиниці обладнання;
- перевірка якості регулювання механізмів та налагодження обладнання.

### 7.2. Сучасні методи технічної діагностики

#### **Метод тимчасових інтервалів**

Використовують під час діагностики обладнання всіх видів та типів з метою аналізу причин його простоїв, визначення параметрів надійності, контролю режимів функціонування, обчислення кінематичних параметрів, отримання циклограм роботи виробничих модулів або автоматичних ліній.

Метод реалізується на основі порівняння фактичної та нормативної тривалості простоїв. Використання його дає можливість здійснити первинну локалізацію місця пошкодження.

### **Методи еталонних (нормативних) модулів**

Основаються на порівнянні експериментально визначених або розрахованих за допомогою математичних моделей значень робочих параметрів верстатів (потужності, ККД, робочих зусиль, обертальних моментів, тисків, прискорень, подач, амплітуд вібрацій тощо) з їх паспортними значеннями. Відмінною рисою методу є можливість використання отриманих даних при розрахунках деталей на міцність і стійкість до спрацьовування, прогнозуванні їх ресурсів та визначенні витрат енергії. З використанням величин кінематичних та силових параметрів можуть бути обчислені значення кваліметричних показників, що служать для оцінювання якості механізмів під час діагностики.

Реалізація методу еталонних модулів, що базується на врахуванні граничних значень одного або кількох параметрів, а також його різновиду - методу гілок - не потребує складної апаратури та спеціального програмного забезпечення.

### **Метод еталонних (нормативних) залежностей**

Базується на порівнянні експериментально отриманих функціональних залежностей параметрів вузла, що перевіряється з еталонними, одержаними за результатами розрахунків або дослідним шляхом (наприклад, залежність коефіцієнта нерівномірності подачі від швидкості, довжини ходу тощо). Для здійснення методу потрібна складна віброакустична апаратура.

### **Метод еталонних (типових) осцилограм**

Є різновидом попереднього методу, за допомогою якого досліджують залежності зміни параметрів в часі. Відноситься до найпростіших та найефективніших методів технічної діагностики, у зв'язку з чим, широко використовується для виявлення дефектів машин, особливо тих, для яких характерні низькочастотні динамічні процеси. При реалізації даного методу за результатами розрахунків або експериментів створюється бібліотека еталонних осцилограм, що характеризують стан працездатної машини, а також її дефектний стан. Найбільш складним для розгляданого методу є визначення допусків на значення параметрів, що вказуються в картках дефектів.

### **Метод зіставлення осцилограм**

Передбачає аналіз одночасно записаних осцилограм різних параметрів або одного й того ж параметра при різних умовах роботи механізмів.

Метод є універсальним та найбільш ефективним при діагностиці нових конструкцій та під час проведення профілактичних оглядів.



### **Кореляційні методи**

Застосовують для знаходження відхилень у характері залежностей різних параметрів (взаємна кореляція) або при зміні одного і того ж самого параметра в часі (автокореляція).

При здійсненні методу не потрібні складні математичні розрахунки та комп'ютерна техніка. Найчастіше використовується для виявлення складних дефектів.

### **Спектральні та спектрально-кореляційні методи**

Базуються на вимірюванні або визначенні експериментально-розрахунковим шляхом інтенсивності акустичних зворотних сигналів від вузлів та деталей, що діагностуються.

Реалізація віброакустичних методів діагностики, потребує використання складних апаратури та обчислень і, разом з тим, забезпечує високий ступінь автоматизації процесу діагностування таких вузлів та деталей, як зубчасті передачі, коробки швидкостей, підшипники та інших.

### **Метод визначення граничних (аварійних) станів**

Достатньо перспективний і простий метод, оснований на виявленні якісних ознак переходу пристрою або системи в недопустимий або невідповідний заданому режиму роботи стан. Не потребує точного визначення величин будь-яких кількісних параметрів.

За допомогою даного методу визначають, наприклад, недопустиме зниження рівня робочої, змащувальної або охолоджувальної рідини в баках та резервуарах, забруднення фільтрів, вимикання електроживлення тощо.

При реалізації розглядуваного методу система, що діагностується, або допоміжний пристрій подають зворотний світловий або звуковий сигнал, вимикається електроживлення, зупиняються виконавчі елементи верстата і відповідна інформація передається до диспетчерської або інших підрозділів підприємства.

### **Тестові методи**

Реалізуються на основі подання на входи системи, що діагностується стимулюючих впливів. Наприклад, при діагностиці систем керування та комп'ютерної техніки у певні точки схеми подаються електричні сигнали, після чого реєструються та аналізуються відгуки на них.

До методів даної групи відносять метод перевірки точності верстата шляхом виготовлення на ньому еталонної деталі певної форми та розмірів, методи граничної стружки, визначення похибок обробки заданих ділянок деталі тощо.

### 7.3. Критерії оцінювання стану вузлів та механізмів верстатних комплексів

#### **Шпиндельні вузли та їх приводи**

Основним критерієм оцінювання фактичного стану шпиндельних вузлів та їх приводів при визначення ресурсу та потреби у проведенні операцій технічного обслуговування і ремонту, є рівномірність обертання шпинделя, що, в свою чергу, визначає чутливість привода до зміни зовнішнього навантаження та якість балансування. Від вказаної характеристики, а також від вібростійкості значною мірою залежить технологічна надійність шпиндельних вузлів.

Крім цього, до привода головного руху (електродвигуна, коробки швидкостей) пред'являються вимоги збереження заданих потужностей, навантажувальної здатності, високого ККД, допустимого рівня шумових характеристик, наявності пристроїв для забезпечення захисту від перевантаження.

До шпинделів токарних та інших верстатів, при обробці на яких головний обертальний рух здійснює заготовка, висувається вимога дотримання точності центрування патронів, планшайб або затискних пристроїв; до шпинделів шліфувальних, свердлильних, розточувальних та фрезерних верстатів - точного центрування шліфувальних кругів, лезового інструменту або оправок, збереження заданої жорсткості з'єднань, точності положення інструменту, забезпечення вібростійкості.

Слід також додати, що витрати на ремонт верстатних комплексів суттєво залежать від довговічності шпиндельних вузлів, передаточних механізмів та привода головного руху в цілому, у зв'язку з чим, довговічність та ремонтпридатність даного вузла також відносять до основних критеріїв оцінювання його реального стану.

#### **Механізми подач та їх приводи**

Серед основних критеріїв оцінювання технічного стану механізмів та складальних одиниць приводів подач (кулькових, гвинтових, хвильових, рейкових, зубчастих передач, гідро- і пневмоциліндрів) слід назвати: рівномірність переміщення виконавчого елемента, збереження в процесі роботи заданого зусилля подачі, жорсткості попереднього натягу, час необхідний для відновлення швидкості при реакції на навантаження, від величини якого залежать точність положення та стійкість інструмента, динамічні характеристики привода, значення температурних деформацій елементів та технологічна надійність привода. Додатково до механізмів подачі висувають вимогу оснащення їх пристроями захисту від перевантажень.

#### **Механізми позиціонування**

До механізмів позиціонування, що призначені для зміни взаємного положення інструмента та оброблюваної заготовки (при координатному

свердлінні, розточуванні або токарній обробці східчастих поверхонь), а також для виконання основних та допоміжних рухів в пристроях автоматичного завантаження верстата заготовками та інструментами (подача прутка, поворот упорів) - висуваються вимоги забезпечення точного переміщення виконавчого елемента у певне просторове положення, а також тривалого збереження даного положення.

Закон обертального руху, характеристика двигуна, жорсткості та маси складових деталей, точність передаточних та перетворювальних рухів, в результаті яких змінюються швидкість або напрямок переміщення виконавчого елемента, сили тертя, зазори в з'єднаннях - визначають динамічні навантаження та надійність спрацьовування механізмів позиціонування. Вибір раціональних співвідношень конструктивних параметрів механізмів позиціонування здійснюється за результатами їх математичного моделювання. При цьому необхідні також й експериментальні дані, що одержують в процесі дослідження даних механізмів.

### **Механізми позиціонування з фіксацією**

Вимоги збільшення концентрації операцій механічної обробки, що виконуються на технологічному обладнанні, автоматизації заміни інструментів та їх блоків, широкого впровадження пристосовань-супутників, створення розгалужених систем для транспортування та установа притосовань, - обумовлюють необхідність використання механізмів позиціонування з фіксацією. Механізми даної групи входять в конструкцію токарних автоматів, в яких вони забезпечують поступальні переміщення шпindelних блоків, багатопозиційних агрегатних верстатів (застосовуються для здійснення поворотів і фіксації столів та барабанних пристроїв), верстатів з ЧПК - для повороту револьверних головок, магазинів, розподільних столів, а також промислових роботів та автооператорів - для виконання операцій заміни інструмента.

Критерії оцінювання стану даних механізмів аналогічні критеріям для механізмів позиціонування.

### **Механізми розвантаження або вивільнення опор**

Механізми розвантаження опор широко використовують у шпindelних вузлах та в конструкціях напрямних приводів подачі - гідростатичні, гідродинамічні та аеростатичні опори. Механізми забезпечують підвищення рівномірності руху виконавчих елементів, ККД привода, точність обертального руху шпindеля та позиціонування супорта.

У поворотних столах та револьверних головках як механізми розвантаження або вивільнення використовують гідро- та пневмоциліндри.

Швидкодію механізмів розвантаження визначає маса вантажу, що піднімається, а в механізмах вивільнення опор – ще і величина ходу.

Тривалість підйому вузла над напрямними та час робочого циклу

поворотно-фіксуєчого механізму визначаються ефективністю системи керування. Важливе значення має також запобігання перекосу стола під час його підйому, що може привести до підвищення нерівномірності руху та збільшення витрат часу.

В багатошпindelних автоматах підйом шпindelних блоків забезпечується кулачковими або кулачково-важільними механізмами. В даному випадку необхідно усунути ймовірність перекосу шпindelного блока, оскільки інакше порушуються нормальний поворот та фіксація.

### **Механізми затиску**

Одною з функцій механізмів затиску є забезпечення заданої точності положення заготовок або інструмента в шпindelях, пристроях фіксування багатопозиційних верстатів, супутниках (палетках), маніпуляторах - як перед обробкою, так і під час неї. У зв'язку з цим, до механізмів затиску висувують вимоги дотримання точності центрування об'єкта фіксації, жорсткості та сталості зусиль затиску, від яких, в свою чергу, залежить якість обробки.

У промислових роботах та автооператорах механізми затиску мають забезпечувати точність орієнтації заготовки або деталі, а також запобігають її випадінню під дією власної маси та інерційних зусиль. Механізми затиску використовують і в інших вузлах - супортах, поворотних столах, револьверних головках, а також при необхідності підвищення жорсткості технологічних систем верстатних комплексів.

### **7.4. Діагностика ріжучого інструмента**

В багатоцільових верстатах, що працюють в автоматичному режимі у складі автоматизованих ділянок, широко використовуються різні системи діагностики ріжучого інструменту [11]. Найбільш поширеним способом контролю поточного стану інструменту є визначення того чи іншого силового фактора процесу різання, що реалізується з його допомогою.

Пристрій керування контролем (рис. 7.1), що призначений для здійснення вказаного способу, повинен перед початком діагностування пройти відповідне налагодження.

В процесі налагодження при роботі новим інструментом в пам'ять пристрою надходить інформація про фактичні умови різання. У подальшому при повторній реалізації виробничого циклу дана інформація служить орієнтиром для оцінювання фактичного стану інструмента. За вибором технолога установлюють одне з двох можливих обмежень: неперевищення максимально допустимого значення навантаження від сил різання або невихід за допустимі межі верхнього та нижнього відхилень фактичного значення навантаження. При використанні одної з можливих схем вимірювання одночасно контролюються два силові параметри різання: обертальний момент на шпindelі та зусилля подачі на супорті, що

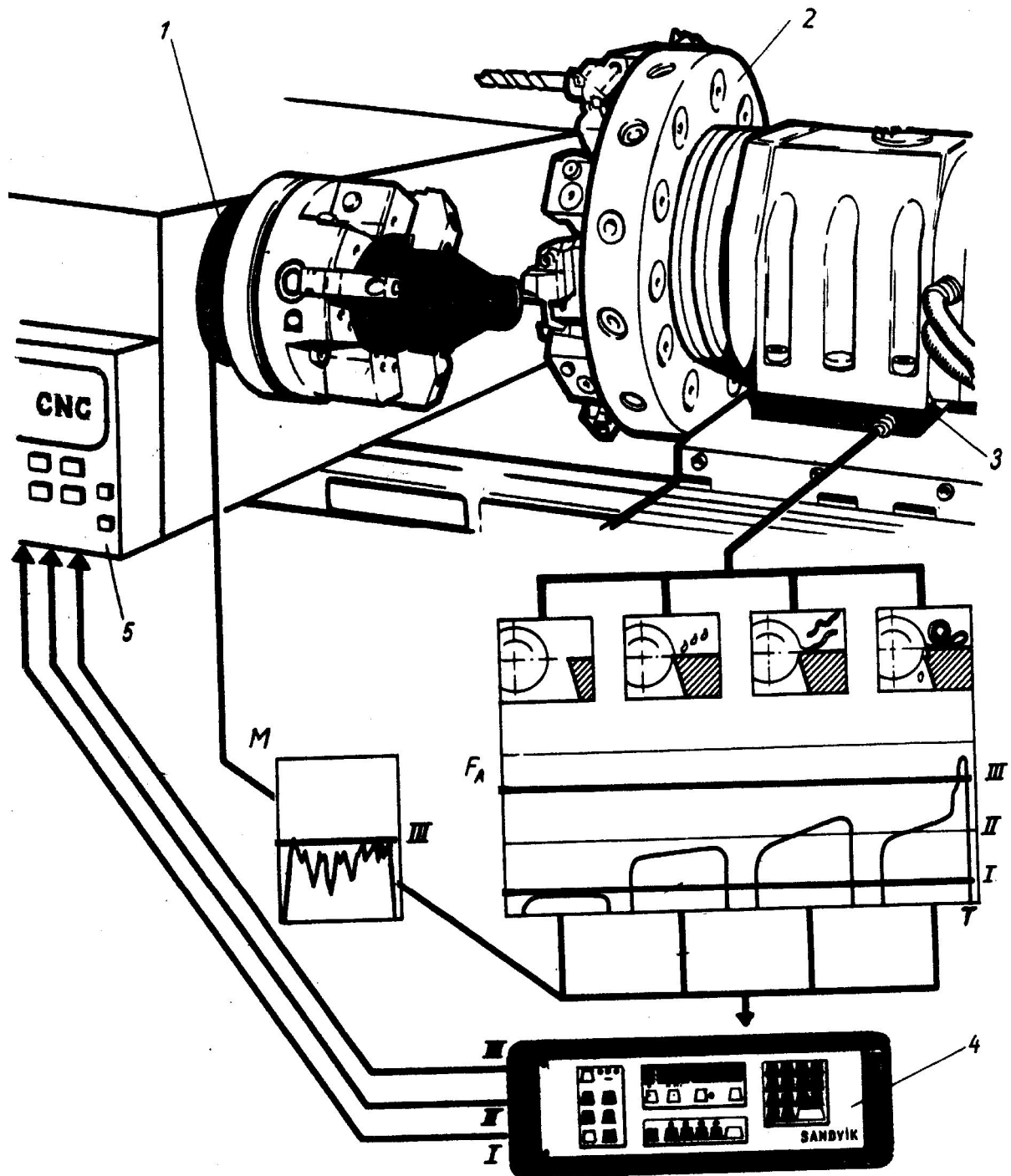


Рис. 7.1. Схема діагностування ріжучого інструмента на токарно-револьверному верстаті з ЧПК: 1 — датчик обертального моменту  $M$ ; 2 — револьверная головка; 3 — датчик осьового зусилля  $F_a$ ; 4 — пристрій контролю інструмента; 5 — ПЧПК

дозволяє з достатньою точністю ідентифікувати гранично допустиме зношування та поломку інструмента і таким чином, своєчасно замінити його (остання операція звичайно виконується автоматично).

Пристрої, що виконують функції контролю та діагностування інструмента, є достатньо складними мікропроцесорними системами з цифровими та аналоговими входами і виходами. Крім здійснення

поточного контролю за силовими характеристиками процесу різання пристрій збирає інформацію про час фактичного використання кожного ріжучого інструмента. При застосуванні відповідного програмного забезпечення пристрій виконує функції основної ланки в контурі адаптивного керування верстатом (даний контур звичайно замикається через ПЧПК). В системі адаптивного керування пристрій діагностики, при роботі якого активно використовуються дані спостереження за процесом різання і в першу чергу фактичний обертальний момент, захищає верстат, пристосування та кожен з інструментів від перевантажень та поломок. Пристрій може також подати команду на вмикання системи подачі ЗОР при збільшенні навантаження на інструменті до заздалегідь встановленого значення, а при зменшенні навантаження нижче даного значення – забезпечити її автоматичне вимкнення. Таким чином, охолодження завжди буде вимкнене в періоди, поки процес різання не відбувається.

Нижні задані значення навантажень, вимірювані за допомогою діагностичного пристрою, можуть служити для фіксації моменту входження інструмента у контакт із заготовкою, що важливо, наприклад, для здійснення точного автоматизованого керування верстатом, визначення часу обробки і т.д. При досягненні певних верхніх значень силових параметрів за командою пристрою можна забезпечити повне відключення верстата або автоматичне плавне зменшення подачі при підтриманні допустимих величин сил різання. Під час експлуатації розглянутий пристрій виконує повністю тільки функції контролю та діагностики інструмента, а функції прийняття рішень — частково. У зв'язку із цим, пристрій зв'язаний каналами керування з програмованими контролерами ПЧПК верстата та з диспетчерським терміналом гнучкого виробничого осередку, в якому він працює.

## 8. Застосування засобів активного контролю та керування верстатними комплексами в процесі їх експлуатації

### 8.1. Класифікація засобів активного контролю

Істотним резервом підвищення економічної ефективності виробництва є застосування засобів активного контролю, що дозволяють без збільшення кількості технологічного обладнання та виробничої площі збільшити продуктивність праці та підвищити точність обробки заготовок.

Призначенням засобів активного контролю є видача інформації про параметри якості (наприклад, точності розміру) оброблюваних або тільки що оброблених заготовок. Дана інформація, видається в установленій формі і використовується оператором або при роботі автоматичних пристроїв, що забезпечують керування верстатом та одержання заданого розміру. Таким чином здійснюється активний вплив на хід технологічного процесу.

Поєднання контролю та керування виробничим процесом одержує все більший розвиток, оскільки забезпечує високу продуктивність разом з підвищенням якості та точності виробів, тоді як застосування тільки ручного контролю допускає імовірність більших розбіжностей між фактичними та заданими параметрами.

Забезпечення можливості контролю протікання технологічного процесу дозволяє створювати системи безперервного керування даним процесом причому не тільки за поточними значеннями робочих параметрів, а і за їх початковими величинами, швидкістю та характером зміни і т.п. Засоби активного контролю прийнято розділювати на дві основні групи: ті, що застосовуються в процесі обробки та після обробки. В кожену групу входять візуальні та автоматичні засоби активного контролю.

При використанні візуальних засобів оператор за показаннями шкали відлікового пристрою або ламп світлосигнальних елементів виконує необхідні операції з керування верстатом та ходом обробки, змінює режими різання, зупиняє обробку, змінює положення ріжучого інструмента відносно технологічних баз і т.д.

Автоматичні засоби при досягненні заданих розмірів оброблюваної заготовки подають на вхід ланцюга керування верстатом відповідні команди на зміну режимів, припинення обробки, зміну положення ріжучого інструменту й т.д. Засоби активного контролю першої групи забезпечують безупинне обмірювання оброблюваної заготовки і в момент досягнення заданих параметрів забезпечують автоматичну зміну режимів обробки або її припинення з метою здійснення перемикання режимів вручну. Використання засобів активного контролю даної групи дозволяє здійснювати обробку з більш високою точністю, оскільки в результаті цього усувається негативний вплив на процес обробки силових та теплових деформацій в технологічній системі, а також вплив, обумовлений

зношуванням ріжучого інструменту. Практично на точність обробки в даному випадку впливає: зміна температури оброблюваної заготовки в момент завершення процесу різання, затримка виконання команди на припинення обробки від моменту її подачі, а також похибки самих засобів активного контролю.

Засоби активного контролю другої групи забезпечують обмірювання вже обробленої заготовки й подачу за їх результатами сигналу або команди на зміну положення (підналагодження) ріжучого інструменту відносно технологічних баз у момент завершення обробки. При застосуванні таких засобів досягається нижча точність обробки ніж при застосуванні засобів першої групи. Засоби контролю, що використовуються після обробки дозволяють усунути негативний вплив на її точність зношування ріжучого інструменту, а також порівняно повільних температурних деформацій в технологічній системі.

Як приклад здійснення засобів активного контролю першої групи розглянемо роботу пристрою для контролю розмірів в процесі обробки на круглошліфувальному верстаті (рис. 8.1).

На вимірювальній позиції I оброблюваний розмір заготовки 8 контролюється вимірювальною голівкою 9 з перетворювачем 1, що закріплені на підвісці 10. Сигнал, що знімається з перетворювача 1, підсилюється в блоці 2, надходить на контрольний прилад 3 та тригерно-релейний блок II, який складається із тригера ТГ1 та реле Р<sub>1</sub>. Після замикання контактів реле Р<sub>1</sub> сигнал через релейний підсилювач (реле Р<sub>2</sub> блока III) надходить на виконавчий електромагніт 6, що забезпечує переміщення золотника гідророзподільника 7, в результаті якого вмикається гідропривод зворотного ходу виконавчого механізму IV і шліфувальна бабка 4 починає відходити від деталі. Для здійснення робочої подачі бабки 4 служить гідропривод прямого ходу 5.

Як приклад реалізації засобів активного контролю другої групи розглянемо функціонування пристрою для автоматичного підналагодження безцентрово-шліфувального верстата (рис. 8.2), за допомогою якого досягається необхідна точність одержання діаметральних розмірів поршневих пальців автомобільного двигуна. В момент, коли черговий оброблюваний палець потрапляє на призму 1, з ним у контакт входить наконечник вимірювального штифта 2, верхній кінець якого зв'язаний з важелем 3. До тих пір, поки поточне значення оброблюваного діаметра є більшим заданого, важіль 3 забезпечує замикання контакту 4. Внаслідок цього, вмикається реле часу, установлене в шафі 5, а також соленоїд 6, що приводить в дію механізм подачі ведучого круга в напрямку до шліфувального. Таким чином, подається команда на початок або продовження процесу механічної обробки до досягнення потрібної величини діаметра обробленого пальця. Привод механізму здійснюється від електродвигуна 7. В результаті автоматичної настройки діаметр пальця буде зменшуватися й вимірювальний штифт 2 почне поступово



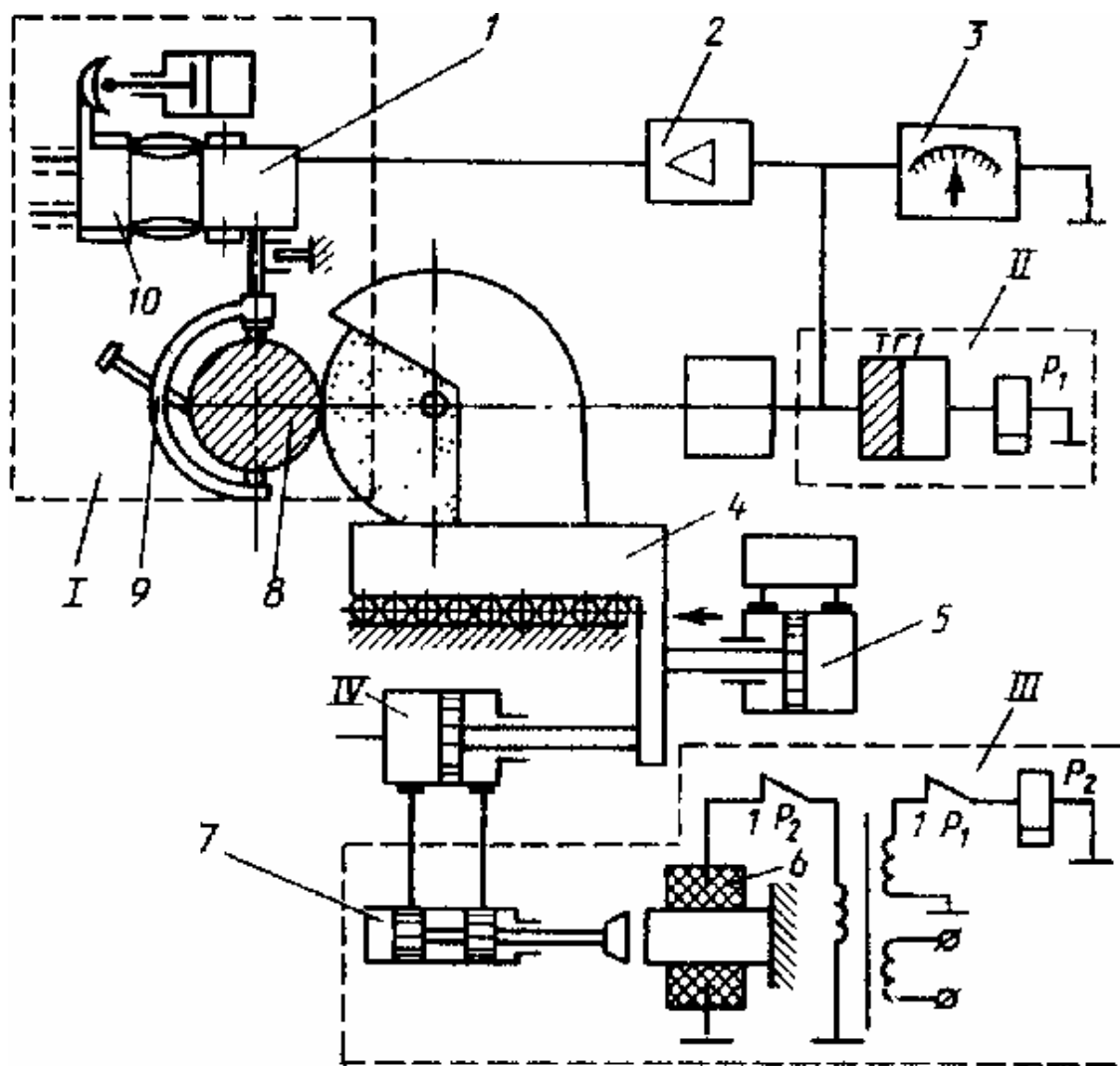


Рис. 8.1. Пристрій для контролю розмірів в процесі обробки на круглошліфувальному верстаті

опускатися, важіль 3 повертатиметься, що забезпечить розмикання контакту 4, замикання контакту 8 та вимкання подачі ведучого круга. Контрольні межі розмірів пальця установлюються шляхом настройки за допомогою регулювальних гвинтів положення контактів 4 і 8.

Підналагодження системи верстата за результатами вимірювань оброблених заготовок звичайно здійснюється для компенсації похибок, обумовлених впливом систематично діючих факторів, серед яких основним є розмірне зношування інструмента, що відбувається під час обробки. Вказаний метод, не дивлячись на його достатньо високу ефективність, не дає можливості компенсувати похибки, що виникають внаслідок впливу таких факторів, як зміна припуску на обробку та властивостей матеріалу оброблюваної заготовки, оскільки дані фактори є випадковими.

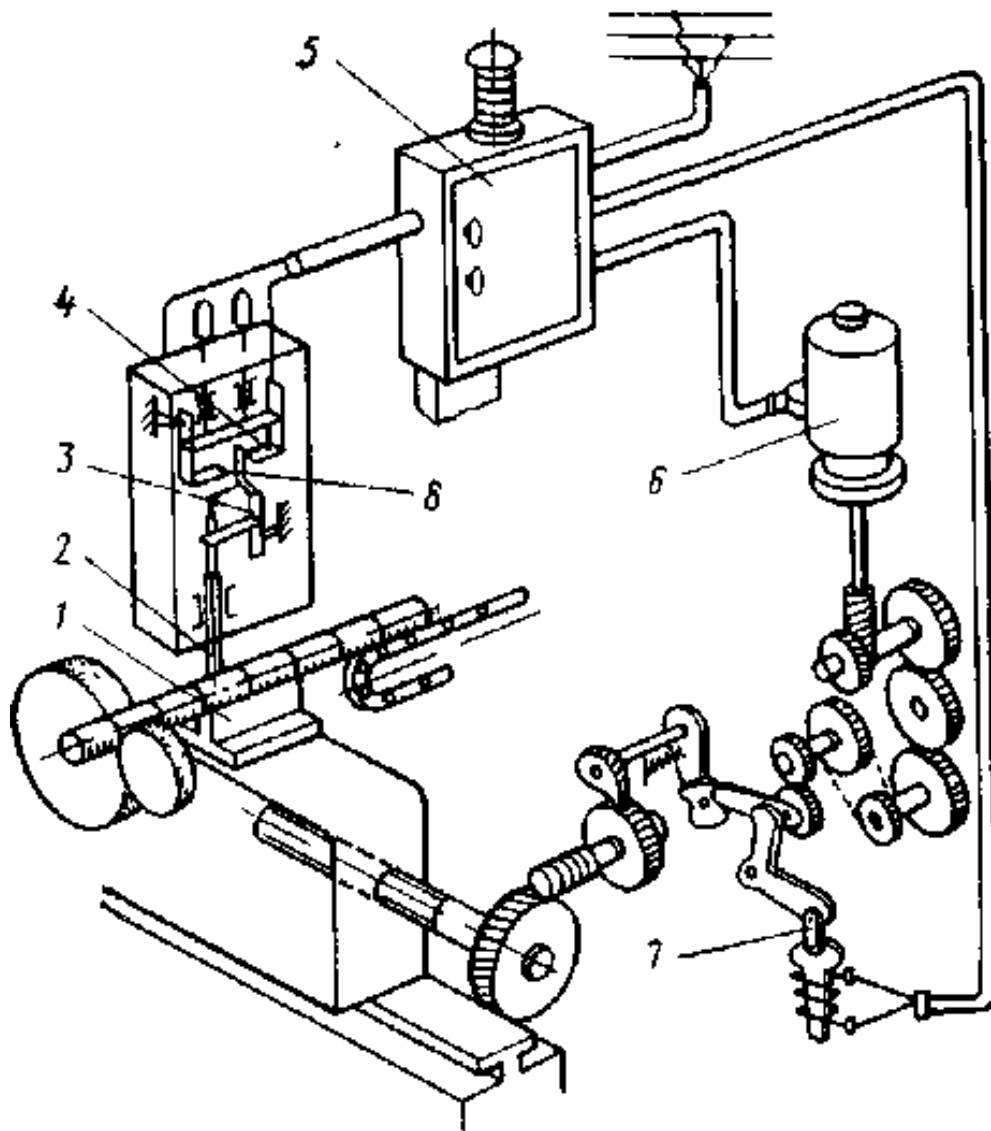


Рис. 8.2. Пристрій для автоматичної піднастройки безцентрово-шліфувального верстата

### 8.2. Загальна структура засобів активного контролю та вимоги до них

Основними елементами засобів активного контролю першої групи є вимірювальна головка з перетворювачем, підсилювач, блок керування та виконавчий блок.

В складі вимірювальної головки можна виділити: вузол базування, вимірювальні наконечники, передаточний підсумовувальний механізм, вузол налагодження на заданий номінальний розмір, вузол налагодження на задане значення робочого параметра, при якому має відбуватись спрацювання, вузол регулювання положення наконечників та вузол введення пристрою в зону обробки.

Звичайно під час контролю оброблювані заготовки переміщуються відносно вимірювальних наконечників з великими швидкостями. Внаслідок цього, процес контролю може супроводжуватись вібраціями

наконечників, зміною положення та швидкості заготовки, коливаннями корпусу підвіски. Крім цього, наконечники та корпус головки обмиваються охолодною рідиною, покриваються частинками абразиву та стружки. У зв'язку із вищевикладеним, серед загальних вимог до засобів першої групи слід назвати: вібростійкість, малий час спрацьовування, наявність пристроїв захисту напрямних та елементів головки від вологи та пилю, малі габарити головки, виконавчих елементів наконечників та інших чутливих пристроїв.

Додатковими вимогами до вимірювальної головки є: мала маса й висока швидкість переміщень її рухомих частин, забезпечення можливості швидкого переналагодження на інший розмір, достатньо великий діапазон робочих ходів вимірювальних наконечників. Особливо істотним є правильний вибір вимірювальних зусиль, форми та розмірів наконечників, матеріалів вставок та тіла наконечників. Ретельна увага має бути приділена також вибору схеми вимірювання та напрямку переміщення заготовки відносно наконечників, оскільки в іншому випадку на точності контролю будуть в значній мірі позначатись їх автоколивання.

Під час розробки підсилювально-перетворювального блока мають бути враховані такі вимоги: забезпечення стабільності робочих параметрів блока протягом тривалого проміжку часу в тому числі і при змінах температури навколишнього середовища (запобігання імовірності „сковзання” нуля), невисока температура нагрівання елементів. При певних подачах та частотах обертання заготовки необхідно дотримати оптимальний час спрацьовування блока, у зв'язку з цим, в підсилювально-перетворювальному тракті повинен бути передбачений елемент налагодження, за допомогою якого можна змінювати час спрацьовування системи.

Контрольні системи керування рекомендується оснащувати візуальними відліковими елементами, що служать для контролю правильності роботи виконавчих блоків та забезпечують полегшення налагодження. Як відлікові елементи можна використовувати: вольтметри, фазометри, осцилографи тощо.

Необхідно визнати явно недостатньою можливість одержання високої точності показань тільки на тій ділянці шкали, що є суміжною з нульовою позначкою. Сучасні прилади повинні сприймати та фіксувати максимум інформації про контрольовану заготовку: її розмір (припуск), проміжні розміри із зніманням припуску (наприклад, з метою визначення припусків на чистову обробку), розмір у момент вимикання подачі, величина перебігу інструменту та розмір після завершення температурних деформацій заготовки. Для дотримання вказаних вимог необхідно створювати двошкальні прилади - з грубою та точною шкалами.

Робочі елементи виконавчого блока мають бути швидкодіючими (безінерційними), а в самому блоці повинна бути передбачена можливість функціонування в двох режимах - робочому (із самоблокуванням

виконавчих елементів) та в режимі настройки (без самоблокування), а також подачі трьох команд – на завершення чорнової, напівчистої та чистої обробки.

Засоби активного контролю другої групи - автопідналадчики - це контрольні пристрої, що забезпечують вимірювання заготовки безпосередньо після обробки та подачу команд на підналагодження обладнання або інструмента при досягненні заданого контрольного значення розміру. Крім цього, до даної групи входять підналагоджувальні пристрої, що вбудовуються у верстат і забезпечують необхідне зміщення інструмента з метою відновлення заданих параметрів настройки.

Розрізняють такі основні способи визначення моменту підналагодження: за одиничним імпульсом, - коли команда подається при відхиленні розміру хоча б однієї заготовки від допустимої граничної величини; за повторними імпульсами, - коли команда подається у випадку виходу за допустимі межі розмірів декількох заготовок підряд; за статичними оцінками, - коли команда подається при виході за допустиме значення середньоарифметичного або медіанного розміру у заготовок довільно вибраної партії.

Основний недолік першого способу полягає в тому, що визначена з його допомогою потреба у підналагодженні може бути обумовлена впливом на систему випадкових одноразових зовнішніх шкідливих перешкод, у зв'язку з чим, можливе припущення грубих помилок. Вимірювальні пристрої автопідналадчиків, що призначені для реалізації підналагодження за повторними імпульсами, мають більш складну конструкцію, але при їх використанні збільшується перешкодостійкість системи та зменшується розсіювання розмірів оброблених заготовок. Найбільшу перешкодостійкість забезпечують способи підналагодження за статичними оцінками, оскільки при їх реалізації визначається положення центра групування розсіювання розмірів і команда подається тільки при його виході за допустиму межу.

При здійсненні підналагодження за статичними оцінками до складу вимірювального пристрою - автопідналадчика - необхідно вводити обчислювальні пристрої (комп'ютери, процесори), що забезпечують визначення середнього або медіанного розміру у вибірці.

### 8.3. Пристрої для контролю розмірів у процесі виконання технологічних операцій

Пристрої для контролю розмірів при виконанні операцій механічної обробки бувають одно-, дво- та триточковими.

При використанні одноточкового пристрою на результат вимірювання розміру буде впливати взаємне переміщення в напрямку лінії вимірювання заготовки та самого пристрою. При реалізації двоточної схеми вимірювання взаємне положення вимірювального пристрою та заготовки в напрямку лінії вимірювання визначається тільки розміром

заготовки й не залежить від вибору її технологічної бази, що зменшує похибку контролю, але не забезпечує повного розділення технологічних та вимірювальних ланцюгів. Відокремлення вказаних ланцюгів досягається при використанні триточкового вимірювального пристрою. В даному випадку взаємне положення вимірювального пристрою та заготовки як у напрямку лінії вимірювання, так і в перпендикулярному до неї напрямку в площині вимірювання задається тільки елементами вимірювального пристрою.

Для контролю розмірів заготовок, оброблюваних на круглошліфувальних верстатах застосовуються вимірювальні пристрої, побудовані за всіма трьома метрологічними схемами. Відоме велике число їх конструкцій, значна частина яких випускається серійно інструментальними заводами, наприклад прилад типу БВ-4100 - для активного контролю в процесі зовнішнього круглого шліфування.

Активний контроль в процесі обробки отворів застосовують при виконанні операцій внутрішнього шліфування та хонінгування. Особливість вказаних процесів обробки полягає у складності доступу до контрольованої поверхні, внаслідок того, що всередині отвору постійно знаходиться оброблювальний інструмент (шліфувальний круг або хон). У зв'язку із цим, перевага віддається таким вимірювальним схемам, при реалізації яких чутливі елементи контрольного пристрою, що визначають розмір, займають мінімум місця. Найпростіша одноточкова схема вимірювання зображена на рис. 8.3, а. Застосування вимірювального пристрою, побудованого за двоточною схемою (рис. 8.3, б), вимагає великого вільного простору, хоча похибка вимірювання в даному випадку є меншою. Використовуються також і пристрої, побудовані за триточною вимірювальною схемою (рис. 8.3, в). Вимірювальний важіль

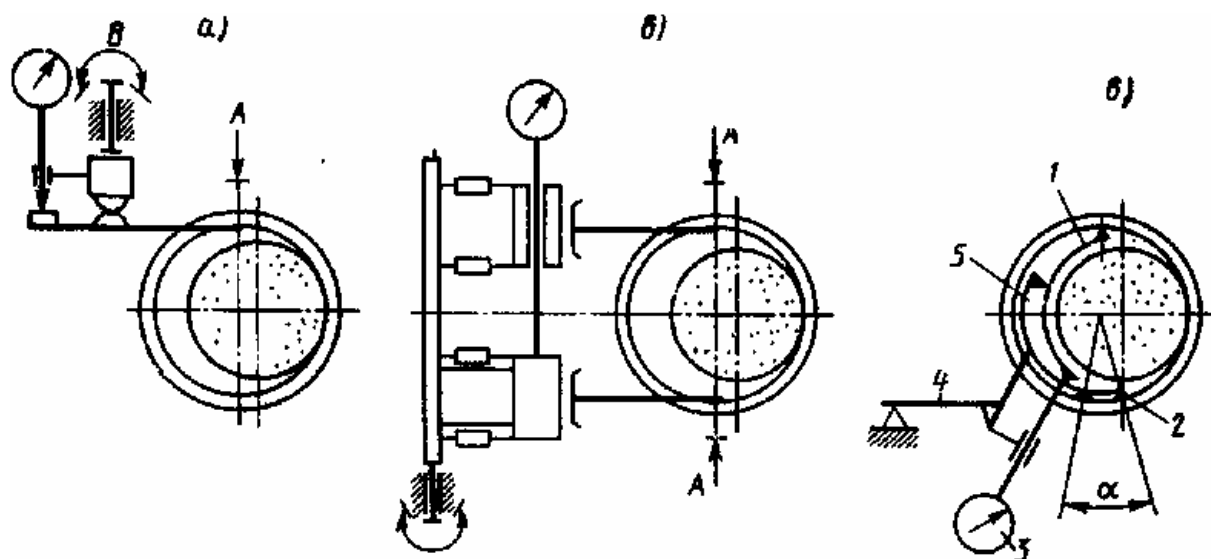


Рис. 8.3. Пристрої для контролю розмірів при виконанні операцій механічної обробки: а – одноточковий; б – двоточковий; в - триточковий

1 в них за допомогою шарніра кріпиться до корпусу 5 пристрою. Останній вводиться всередину оброблюваного отвору й базується по його поверхні опорними наконечниками 2. Корпус за допомогою важеля підвіски 4 кріпиться до верстата. З корпусом з'єднаний також перетворювач 3, що здійснює вимірювання переміщення важеля відносно корпуса, пропорційне контрольованій зміні діаметра отвору.

При плоскому шліфуванні доступ до базової поверхні заготовки відсутній, вільною залишається лише оброблювана поверхня. Внаслідок цього, контрольні пристрої можуть бути реалізовані тільки за однокривою схемою вимірювання. Однак у зв'язку з особливостями процесу плоского шліфування, чутливий елемент не може бути введений в оброблюваний переріз заготовки одночасно зі шліфувальним кругом. Крім цього, заготовка в процесі обробки здійснює зворотно-поступальні переміщення, що обумовлює виникнення додаткових похибок вимірювання, приводить до переривчастості контролю і змушує вводити в конструкцію вимірювального пристрою вузли запам'ятовування отриманих результатів або блокування подачі керуючої команди на період переривання процесу вимірювання. Точність вимірювання при плоскому шліфуванні значною мірою залежить від точності верстата.

Для підвищення точності вимірювання в ряді технологічних процесів використовують схему компенсації нестабільної бази обробки заготовки (рис. 8.4). В цьому випадку вимірювання заготовки здійснюється від технологічної бази (поверхні столу) і похибка базування автоматично компенсується і не впливає на результати вимірювання.

Пристрої для контролю точності виконання технологічних операцій обробки інших видів застосовуються значно рідше, що пояснюється рядом технічних труднощів, які виникають під час їх роботи. Відомі також дослідні зразки пристроїв активного контролю для токарних, зубооброблювальних та інших операцій, однак серійно вони не виготовляються за винятком приладів АИД-7 з обкатним роликком, які призначені для контролю діаметрів валів в процесі токарної обробки.

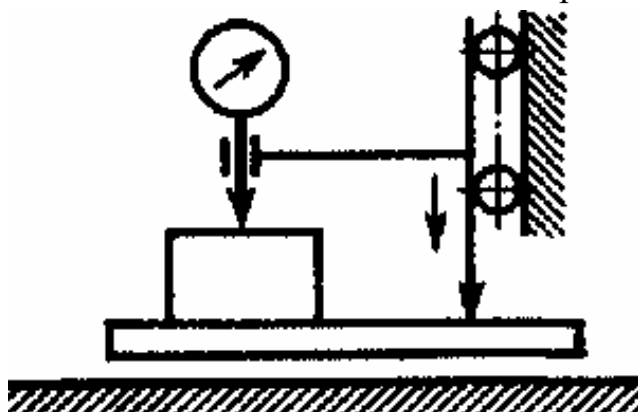


Рис. 8.4. Схема компенсації нестабільної бази обробки заготовки

#### 8.4. Деякі аспекти адаптивного керування верстатами

Вивчення діючих технологічних систем та аналіз достатньо великої кількості графічних залежностей дозволили установити домінуючі фактори, що впливають на виникнення похибок обробки. Було визначено, що в найбільшій мірі на точність впливають коливання припуску та

твердості оброблюваних заготовок як в межах їх партії, так і по об'єму кожної заготовки. Останнє поряд із затупленням інструмента, зміною його геометрії та рядом інших факторів впливає на зміну вектора сили різання.

Було введено поняття еквівалентної сили, момент якої дорівнює сумі моментів діючих сил:  $P_e = P_z\xi + P_y\eta + P_x\gamma$  де  $\xi, \eta, \gamma$  - коефіцієнти, що показують вплив кожної зі складових сили різання на величину еквівалентної сили. Відомо, що сила різання є функцією ряду факторів, що діють у процесі обробки і впливають на вихідні параметри технологічної системи - точність та продуктивність обробки:

$$P = f(v; s; t; HB; C_1; C_2; C_3),$$

де  $v$  — швидкість різання;  $s$  — подача;  $t$  — глибина різання;  $HB$  — твердість матеріалу оброблюваної заготовки;  $C_1$  — геометрія різання;  $C_2$  — стан ріжучого інструменту;  $C_3$  - інші фактори.

Відхилення сили різання обумовлені зміною в процесі обробки кожного з вказаних вище факторів. Алгебраїчне підсумовування та дія останніх у кожний момент часу протікання технологічного процесу приводить до відхилення розміру динамічного налагодження  $A_d - \omega A_d$ , що є одним з домінуючих відхилень при формуванні похибки обробки за тим або іншим показником точності.

Розмір оброблюваної заготовки формується на трьох етапах: установлення, статичного та динамічного налагодження:  $A_\Delta = A_y + A_c + A_d$ . Якщо під час контролю розміру динамічного налагодження  $A_d$  має місце відхилення  $\omega A_d$ , його для підвищення точності обробки необхідно максимально зменшити.

Для підвищення точності обробки були розроблені два нові, принципово різні способи. При реалізації першого способу поправка вноситься в розмір статичного налагодження  $A_c$  і дорівнює фактичному відхиленню розміру динамічного налагодження  $A_d$ . Внесення такої поправки це не що інше, як зміна глибини різання — одного з параметрів, що впливає на величину сили різання. Другий спосіб передбачає внесення поправки на відхилення  $A_d$  в самий розмір динамічного налагодження. Приклад використання першого способу — блок-схема системи адаптивного керування розміром статичного налагодження  $A_c$  (рис. 8.5). За допомогою програмного пристрою 4 дискретно або у вигляді безперервної зміни за програмою задається відхилення розміру  $A_d$ . Датчик 1, що настроєний на цю величину, здійснює вимірювання фактичного відхилення  $A_d$ , пристрій 2 підсилює сигнал і передає його у порівняльний пристрій 3, у якому після зіставлення обмірюваної величини із заданою визначається знак розбіжності й відпрацьований сигнал передається до електродвигуна 7, що через редуктор 6 забезпечує переміщення виконавчого механізму 5 - верхніх полозків супорта. Останні зміщуються у

положення, при якому буде усунена розбіжність між фактичним і заданим значеннями.

Як показали дослідження, основними перевагами другого способу керування є: підвищення точності обробки партії заготовок в 2...5 разів у порівнянні із точністю заготовок після звичайної обробки при забезпеченні тих же параметрів шорсткості; зниження амплітуди вібрацій і збільшення за рахунок скорочення числа проходів штучної продуктивності.

При використанні другого способу, підвищення точності обробки

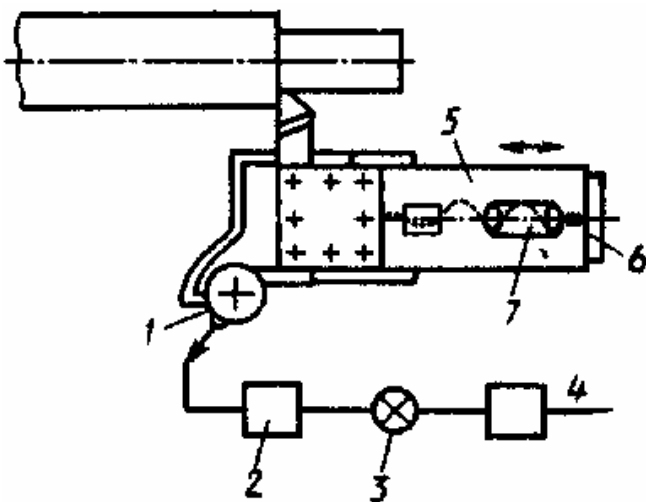


Рис. 8.5. Блок-схема системи адаптивного керування розміром статичного налагодження

заготовки забезпечується за рахунок стабілізації розміру  $A_d$ , що досягається підтриманням постійного значення еквівалентної сили  $P_e$  при незмінній жорсткості технологічної системи (керування величиною еквівалентної сили  $P_e$  при коливаннях жорсткості технологічної системи з метою збереження постійності відношення  $A_d$  та жорсткості або керування жорсткістю технологічної системи при відхиленнях еквівалентної сили  $P_e$  для збереження постійності їх співвідношення). Для прикладу на рис. 8.6

показана блок-схема гідрокопі-

ювального токарного напівавтомата. Сила різання як вектор вимірюється за допомогою динамометричного різдетримача 1, на якому закріплений індуктивний датчик 2, що перетворює пружні деформації в електричні імпульси, пропорційні відхиленню розміру динамічного налагодження. Програмний пристрій 3 служить для задання дискретних відхилень динамічного налагодження або відхилень, що змінюються за вибраним законом. Електричні імпульси, що надходять від динамометричного й програмного пристрою порівнюються в пристрої 4, який забезпечує відпрацьовування знаку розбіжності. Далі електричний сигнал, після проходження через підсилювач та обмежувач 5 найбільшої подачі, що задається пристроєм 6, надходить на електромеханічний перетворювач 7. Останній змінює робочу поздовжню подачу супорта до усунення розбіжності фактичного та заданого розміру.

Стабілізувати  $P_e$  можна також, змінюючи геометрію різання, наприклад, шляхом повороту токарного різця навколо осі, що проходить через його вершину, перпендикулярно до обробленої поверхні. Останнє, до цього ж, дозволяє підвищити і точність обробки. При повороті змінюються: передній кут  $\gamma$ , задній кут  $\alpha$ , кути в плані  $\phi$ ,  $\phi_1$ , кут нахилу головної ріжучої кромки  $\lambda$ .



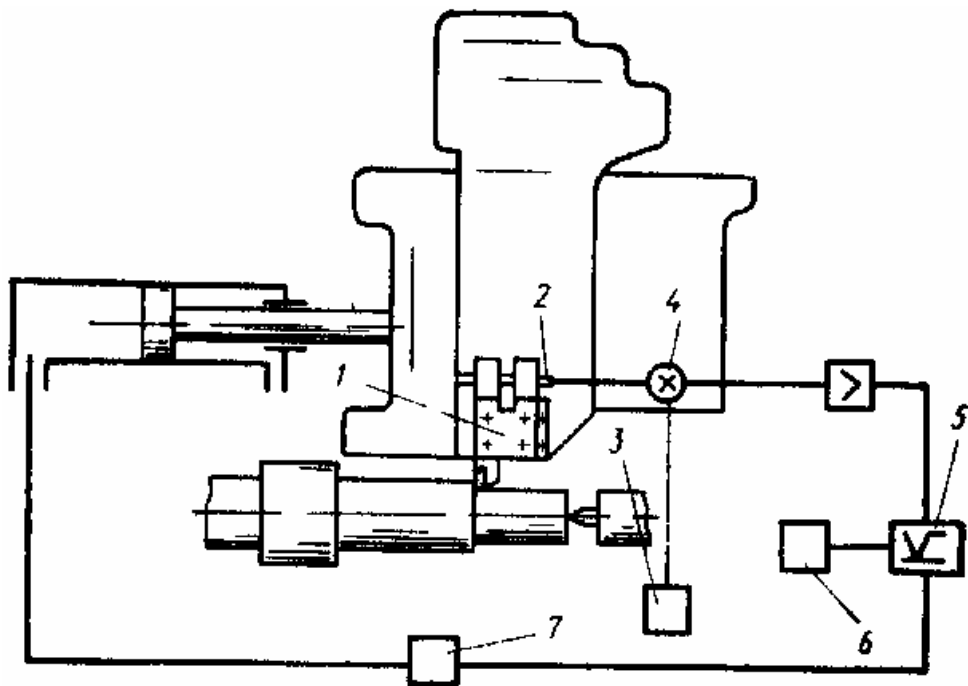


Рис. 8.6. Блок-схема гідрокопіювального токарного напівавтомата

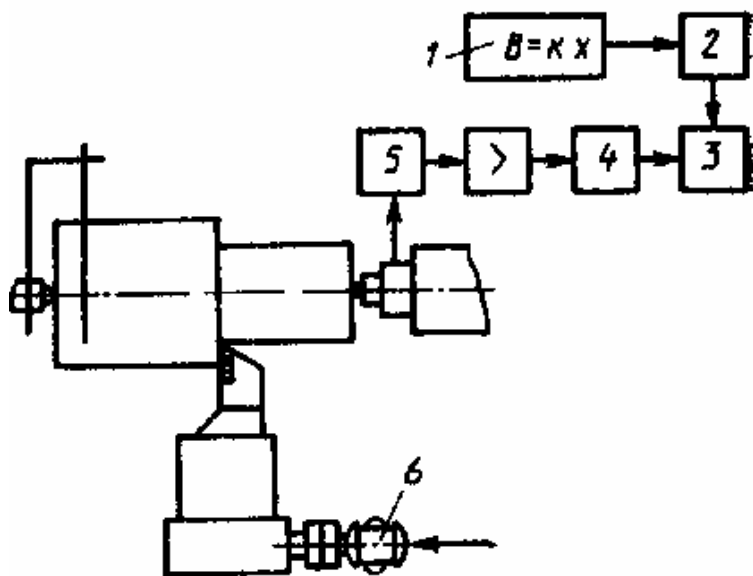


Рис. 8.7. Блок-схема системи автоматичного керування зі зміною геометрії різання

На рис. 8.7 показана блок-схема системи автоматичного керування зі змінною геометрією різання. За допомогою датчика 5 вимірюються пружні переміщення пінолі задньої бабки токарного верстата, що функціонально пов'язані з динамічним налагодженням. Реакція на пінолі змінюється залежно від величини прикладеної сили різання, в результаті на вхід пристрою порівняння 4 від розрахункового пристрою 2 подається змінна напруга.

В свою чергу, на пристрій 2 безупинно подаються поправки від потенціометра 1, що одержує обертання від ходового вала через редуктор та кулачковий механізм. Пристрій 3 служить для задання напруги, що є пропорційною відхиленню від параметра динамічного налагодження. Сигнал неузгодженості після проходження підсилювача надходить до електродвигуна 6, який повертає різець в ту або іншу сторону доти, поки неузгодженість не буде скомпенсована.

Таким чином, сучасний верстат все більше перетворюється в складну оброблювальну систему, що включає пристрої для здійснення процесів різання, а також для керування даними процесами залежно від впливу сторонніх факторів. Найбільш повно вказана тенденція проявляється у оброблювальних автоматах та верстатах з ЧПК.

Металорізальні верстати можна розглядати як системи регулювання, що мають певні динамічні властивості й призначені для забезпечення заданих у карті налагодження параметрів оброблюваних заготовок при умові збереження достатньої продуктивності.

Спостерігається тенденція до все більш повної передачі контрольним системам функцій керування технологічним процесом. Однак здійснення контролю та керування технологічним процесом ще не може забезпечити високої якості виробів, оскільки остання в значній мірі залежить від конструкції та стану самого обладнання, а також від вибраних режимів обробки та геометрії інструмента.

Високих точності та продуктивності можна досягти одночасно тільки при використанні достатньо досконалого та ефективного обладнання, оснащеного пристроями контролю та керування. Суміщення в одному пристрої функцій контролю та керування виробничими процесами можливе на основі розв'язання метрологічних та технологічних задач, а також задач зі створення обладнання та засобів автоматизації з поліпшеними динамічними характеристиками.

## 9. Самоналагоджувальні контрольні системи

### 9.1. Класифікація та характер роботи систем

Самоналагоджувальні контрольні системи є системами автоматичного контролю та керування, які здатні самостійно змінювати власні параметри налагодження, забезпечуючи задану точність обробки при довільних змінах зовнішніх та внутрішніх умов.

Ступінь автоматизації самоналагоджувальних систем визначається економічними міркуваннями. Для процесів, що протікають з великою швидкістю (наприклад, в масовому виробництві), доцільне застосування повністю автоматичних самоналагоджувальних пристроїв.

Задача автоматичного налагодження об'єкта контролю та керування значно спростилася б, якщо параметри його налагодження, а отже і задані розміри оброблюваної заготовки, змінювались би за певним законом. Але така зміна на практиці зустрічається вкрай рідко, що обумовлює необхідність створення досить складних самоналагоджувальних контрольних систем.

Самоналагоджувальні контрольні системи відносяться до вимірювальних систем автоматичного керування, що забезпечують найбільш оптимальний режим для керованого об'єкта. Дані системи при змінних умовах можуть здійснювати налагодження програми, параметрів або структур. В наш час основним видом розглядуваних систем є системи самоналагодження параметрів, що оснащені автоматичними коригувальними пристроями.

Система окрім звичайного замкненого ланцюга регулювання може мати ще і замкнений або розімкнений ланцюг налагодження. При цьому розрізняють два основні методи здійснення корекції. Згідно із першим методом регулювання за відхиленням, контролюють зміну основного вихідного параметра (наприклад, якості) і здійснюють регулювання елементів ланцюга налагодження. При використанні другого методу регулювання за збуренням контролюють основні параметри вхідних впливів (наприклад, амплітуду вібрацій) і якщо потрібно приводять їх в допустимі межі, при цьому похибка компенсується лише частково, залежно від кількості врахованих факторів. Різновидами першого методу прийнято вважати спосіб зразкових сигналів та спосіб зворотного перетворення. У випадку реалізації останнього способу параметри коригувального впливу визначають за результатами вимірювання характеристик кожного з факторів, що впливають на об'єкт контролю.

Самоналагоджувальні контрольні системи діляться на системи безперервної дії, в яких сигнал корекції або налагодження подається безупинно, та системи дискретної дії, в яких сигнал на регулятор подається через певні проміжки часу (їх величина вибирається залежно від заданої точності налагодження). Більшість самоналагоджувальних систем відносяться до пристроїв дискретної дії, що забезпечують періодичний

контроль заготовок у процесі обробки на верстатах або їх післяопераційну перевірку з метою відбраковування.

Самоналагоджувальні системи одного і того самого типу контролю можуть бути настроєні на роботу із забезпеченням різної точності обробки, яка установлюється згідно із спеціальною програмою або залежить від зміни розміру заготовки. Самоналагоджувальні системи можуть працювати при: постійній точності обробки, що підтримується, наприклад, шляхом контролю розмірів оброблених заготовок; корекції точності при виведенні заготовки на позицію вимірювання; самоперевірці і подальшій корекції за упором або за зразковим сигналом, відтвореним спеціальним блоком.

Ряд самоналагоджувальних контрольних систем, зокрема із програмним керуванням, оснащуються вимірювальними наконечниками зі значним робочим ходом. При цьому використовуються також аналогові системи, побудовані на індуктивному і ємнісному принципах або системи з дискретним перетворенням лінійної величини, що безупинно змінюється (системи з індуктивними гвинтовими перетворювачами та фотоелектричними растровими перетворювачами).

Якщо межі вимірювань відносно невеликі, самоналагоджувальні системи включають блок безперервної або дискретної зміни задавального сигналу в складі набору східчастих зразків. Системи даного виду застосовуються, головним чином, в умовах дрібносерійного виробництва, що вимагає частого переналагодження.

Самоналагоджувальні системи з корекцією точності налагодження за заготовкою компенсують вплив на неї таких систематичних факторів, як інерційні зусилля, затуплення ріжучого інструменту й т.п. Однак такі системи піддаються також впливу випадкових факторів: зміна форми заготовки в межах кожного її ступеня, зміна температури тощо. Найбільш ефективним видом налагодження за еталоном є динамічне налагодження, при якому еталон на вимірювальній позиції переміщується (обертається) з тою ж швидкістю, з якою рухається контрольована заготовка. При налагодженні за упором відхилення від точності обробки можуть компенсуватись лише частково. Наприклад, може бути усуненим вплив змін температури на вимірювальний наконечник або дрейф нуля, обумовлений зміною робочих параметрів електричної схеми й т.п. Двоточкові пристрої активного контролю включають первинну і вторинну вимірювальні головки, що установлюються в двох позиціях - робочій та повторного огляду. В робочій позиції за допомогою первинної головки здійснюється контроль розміру оброблюваної заготовки з подальшим керуванням технологічним процесом, на позиції повторного огляду з використанням вторинної головки перевіряється параметр заготовки після завершення її обробки. Далі за результатами контролю проводиться корекція точності налагодження первинної головки.

## 9.2. Структурні схеми

### самоналагоджувальних систем контролю

В самоналагоджувальних системах є не менше двох кіл впливу: коло основного метрологічного впливу, що дозволяє здійснити автоматичне розсортування деталей або вчасно припинити процес обробки та коло допоміжного впливу, що утворює контур самоналагодження (корегування).

Коло самоналагодження складається з двох окремих блоків: аналізатора та виконавчого налагоджувального пристрою. Аналізатор автоматично визначає величину та знак відхилення системи від заданого параметра налагодження й видає необхідний сигнал. Налгоджувальний пристрій сприймає даний сигнал і забезпечує автоматичну зміну параметрів регулятора до усунення відхилення від заданого значення параметра налагодження.

В структурній схемі самоналагоджувальної системи при змінному параметрі налагодження (рис. 9.1), наприклад у пристрої для паралельної обробки двох заготовок, одна з них взаємодіє з основним датчиком, сигнал від якого надходить до аналізатора (підсумовувального блоку). До нього ж від еталона подається сигнал, що задає параметр налагодження; він далі перетворюється в додатковому датчику. При наявності недопустимої різниці двох сигналів через підсилювач і виконавчий механізм у потрібний момент подається команда на відбраковування заготовки або припинення подачі ріжучого інструменту. У системи є дві вимірювальні позиції. Аналізатор протягом всього часу обробки перебуває у включеному стані, а спеціальний налагоджувальний пристрій відсутній.

В структурній схемі самоналагоджувальної системи з незмінним параметром налагодження (рис. 9.2), що контролюється за допомогою еталона або остаточно обробленої на верстаті заготовки, аналізатор та налагоджувальний пристрій включаються в роботу за допомогою перемикачів  $\Pi_1$  і  $\Pi_2$  і тільки на етапі самоналагодження (під час контролю

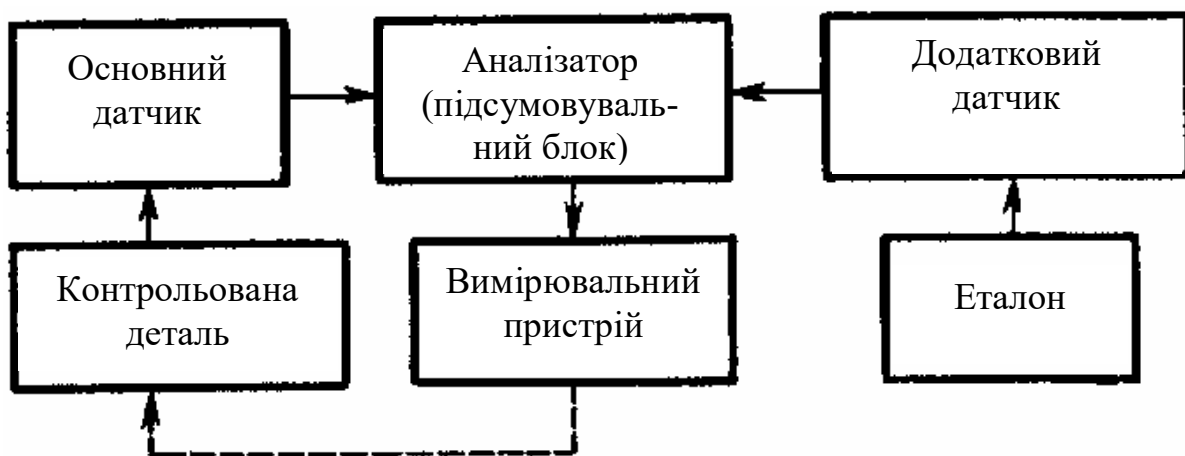


Рис. 9.1. Структурна схема самоналагоджувальної системи зі змінною точністю налагодження

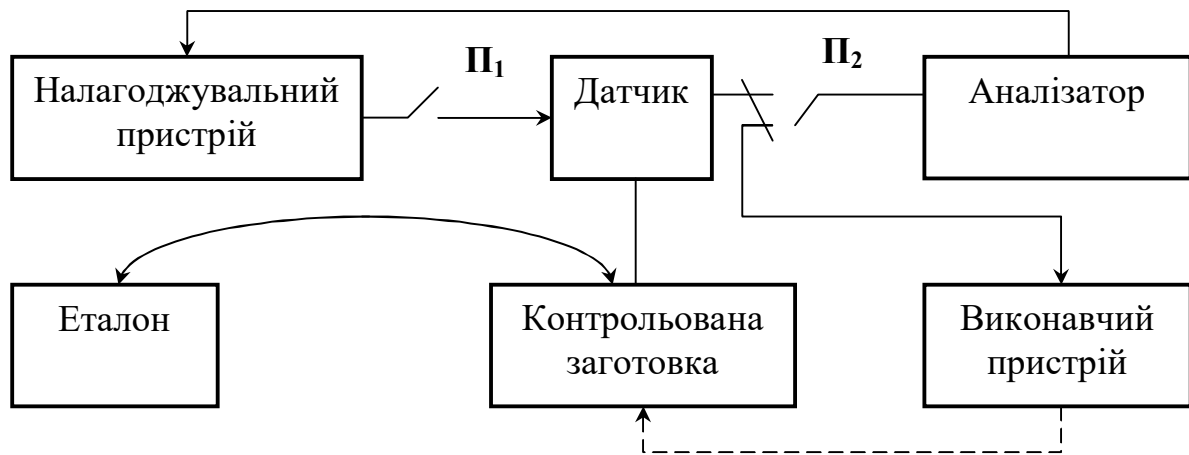


Рис. 9.2. Структурна схема самоналагоджувальної системи з постійною точністю налагодження

заготовки вони відключені). Коло самоналагодження може бути виконаним за одним з двох варіантів. У схемі, реалізованій згідно із першим варіантом налагоджувальний пристрій впливає на інші елементи підсилювальної системи (потенціометри, конденсатори) і змінює їх параметри. В схемі другого варіанта він впливає безпосередньо на елементи системи налагодження (регульовальні гвинти, датчики, перетворювачі), змінюючи, наприклад взаємне розташування електричних контактів. Перша схема більш досконала, оскільки при її функціонуванні вплив на виконавчі елементи може здійснюватися з більшою точністю.

Система має лише одну вимірювальну позицію. Можливе корегування параметра налагодження як за фактичним розміром вимірюваної заготовки, так і за розміром еталона або послідовно за тим й іншим. Наведені схеми пристроїв пояснюють будову систем з регулюванням за відхиленням основного параметра налагодження. Регулювання даного виду дозволяє здійснювати корекцію, величина якої залежить від комплексу діючих на систему несприятливих факторів (збурень).

Однак описані системи не дозволяють у ряді випадків збільшити точність та надійність контролю, оскільки забезпечують компенсацію, як правило, лише систематичної частини сумарної похибки й не реагують на зміну деяких робочих параметрів в період здійснення самого процесу контролю. У зв'язку з цим, інколи є виправданим створення систем, використання яких дозволяє вести корекцію залежно від збурень або зміни вибраних робочих параметрів. Подібні системи, крім того, повинні мати й коло корекції за відхиленням основного параметра налагодження, оскільки в іншому випадку, внаслідок дрейфу нуля налагодження система буде дуже швидко втрачати задану точність. Розглянемо будову систем налагодження за збуренням (рис. 9.3). Основний датчик здійснює контроль заготовки й залежно від величини основного параметра налагодження подає сигнал до виконавчого пристрою. Один або декілька датчиків

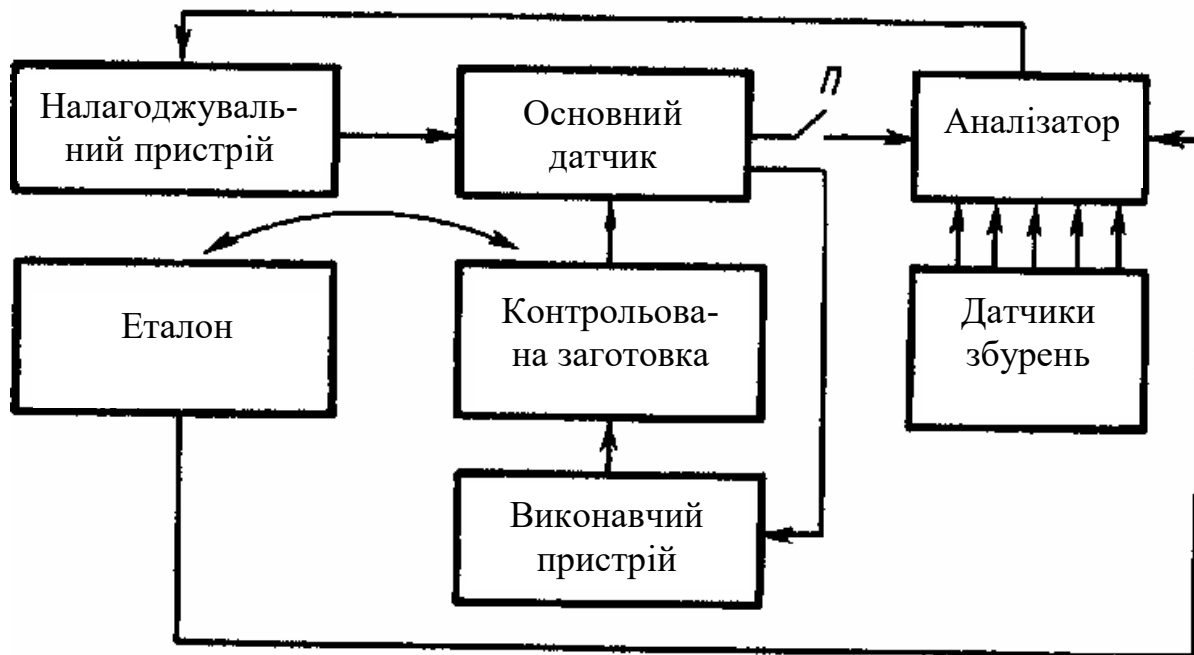


Рис. 9.3. Схема налагодження за збуренням

збурень періодично або безупинно подають сигнали до аналізатора, де обчислюються поправки, що за допомогою налагоджувального пристрою вводяться в основний датчик, після чого відпрацьовується необхідна корекція. На позиції вимірювання періодично установлюється еталон. Далі через перемикач П замикається коло, що забезпечує введення основної поправки. Самоналагоджувальні пристрої описаного виду досить складні, хоча й забезпечують більш високу точність обробки. Прикладом використання таких пристроїв може служити гасіння вібрацій шляхом створення змушених коливань зворотних за фазою тим, які виникли в системі.

### 9.3. Приклади реалізації самоналагоджувальних систем контролю

Системи, робота яких основана на методі первинної корекції параметра налагодження за відхиленням, одержали переважне поширення в автоматичних пристроях пасивного контролю. Як приклад розглянемо систему автоматичного контролю із самоналагоджувальним коригувальним блоком (рис. 9.4). Автоматична перевірка й самоналагодження робочих параметрів датчика здійснюються за одною встановлювальною овальною мірою. За малою віссю овалу **а - а** здійснюється налагодження контакту 1 – нижньої межі поля допуску; за великою віссю овалу **б - б** - налагодження контакту 2 - верхньої межі поля допуску. Встановлювальна міра вводиться у вимірювальну скобу С автоматично - важелем за командою з блока керування. Обертання мірі передається від гнучкого вала. В даній схемі для кожної межі поля допуску передбачені спарені контакти 1 - 1' і 2 - 2', відстань між якими відповідає

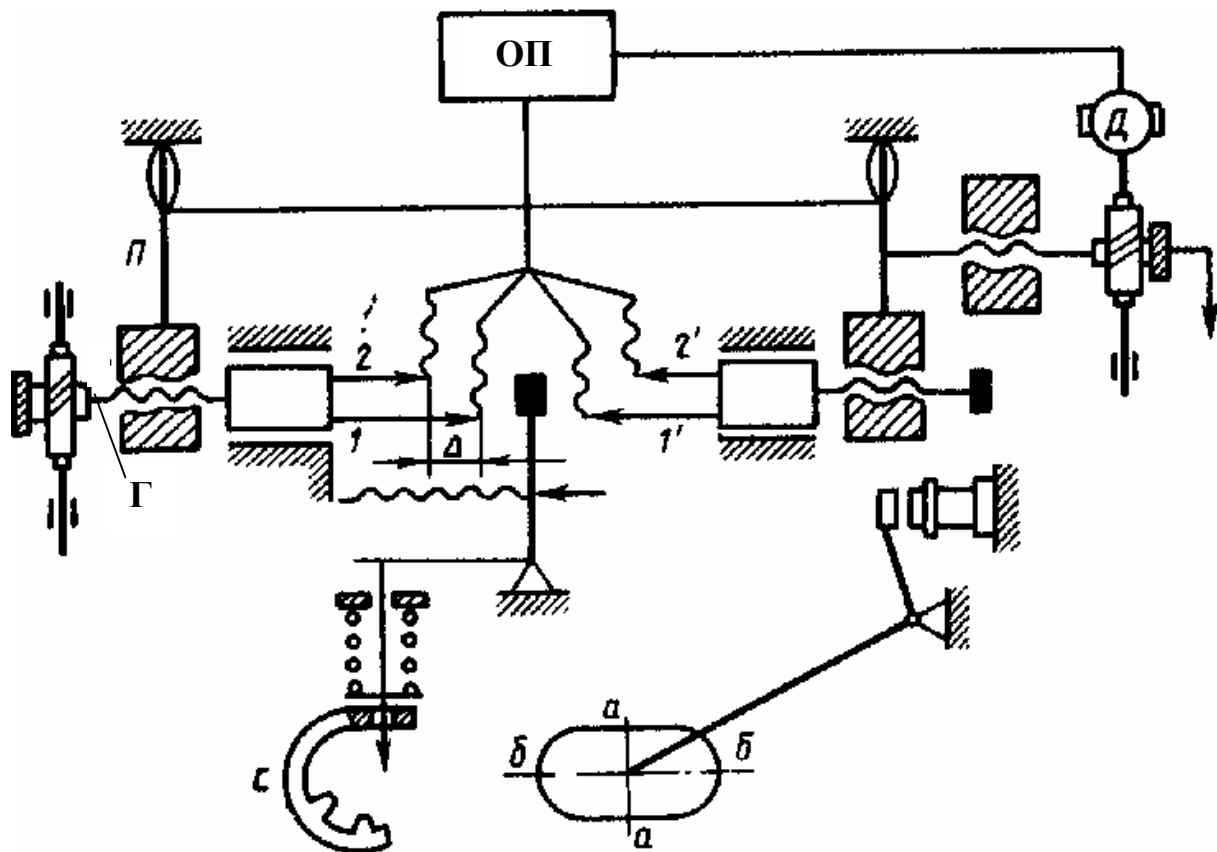


Рис. 9.4. Система автоматичного контролю із самоналагоджувальним коригувальним блоком

допустимій похибці налагодження за кожною з півосей овалу **а - а** й **б - б**. Якщо під час налагодження перетворювача вказана відстань не порушилась, то контакти 1 і 2 замкнені, а 1' - 2' - розімкнені. В цьому випадку обчислювальний пристрій ОП дає команду на продовження функціонування в робочому режимі.

Якщо ж виявляється, що замкнені обидва спарені контакти за кожною піввіссю встановлювальної міри, то релейна система із слідкувальним сервомотором, відпрацьовує положення рамки паралелограма П та гвинта Г з контактами 1 - 2 до розмикання контактів 1' - 2'. Якщо положення контактів відпрацьоване правильно, то при безперервному обертанні овальної встановлювальної міри по черзі спрацьовують контакти 1 і 2 (контакти 1' і 2' відповідно розімкнені). Овальна встановлювальна міра повинна бути виконана з високою точністю. Необхідно також пам'ятати, що рамка П може піддаватися температурній деформації, що приводить до появи додаткової похибки.

Для одержання з'єднань високої точності необхідно вимірювати задані розміри заготовок з похибкою, що не перевищує 0,1...0,5 мкм і розсортувати їх на групи через інтервали 0,25...1 мкм. Таку задачу можна виконати тільки за допомогою високопродуктивних автоматів, оснащених самоналагоджувальними коригувальними контурами, що забезпечують



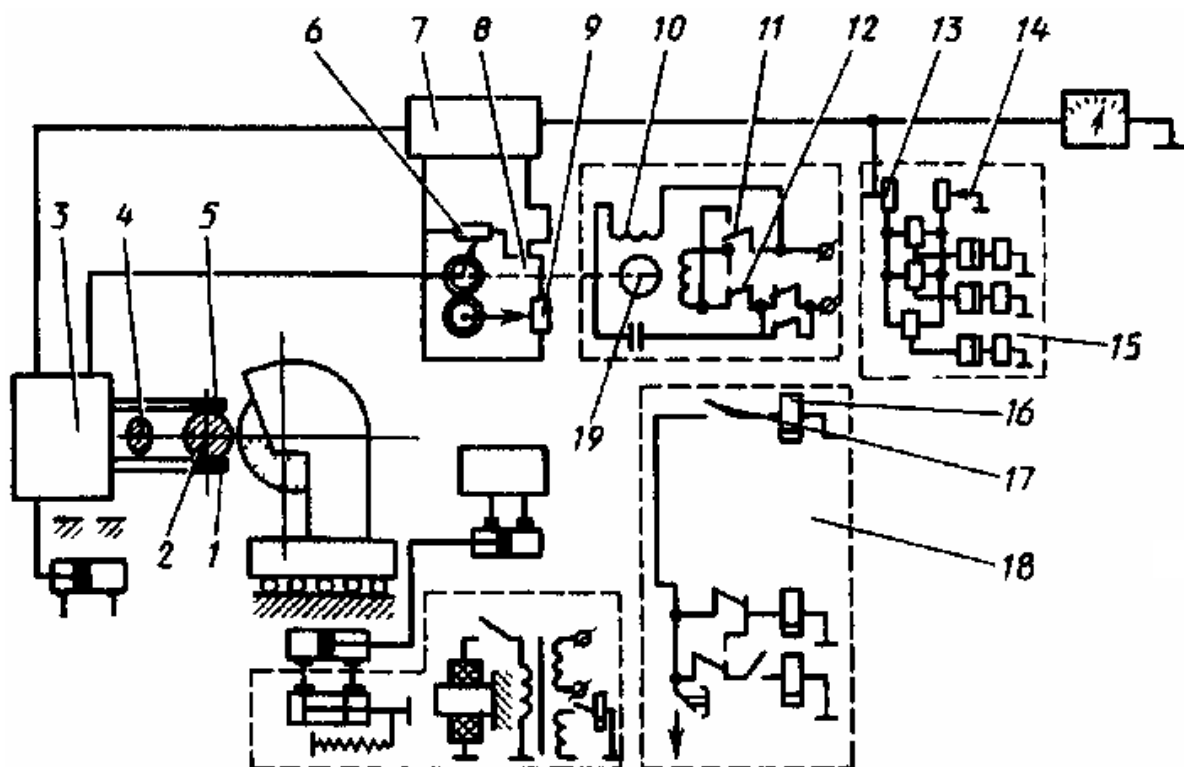


Рис. 9.5 Пристрій для автоматичного введення поправки на точність налагодження за еталоном

компенсацію впливу основних збурень (зношування та температурних деформацій).

Метод вторинної корекції налагодження за відхиленням розміру окремої заготовки застосовується в системах з пристроями контролю керування. При налагодженні за зразковою деталлю, виведеною на вимірвальну позицію, необхідно враховувати динамічні помилки, що виникають внаслідок інерції спрацьовування системи контролю керування - виконавчого механізму верстата. У зв'язку з цим, необхідне введення додаткової (вторинної) поправки на точність налагодження.

На рис. 9.5 зображений пристрій, який дозволяє автоматично враховувати поправки на точність налагодження за еталоном, що змінюються в процесі експлуатації пристроїв активного контролю, наприклад внаслідок зміни температурних умов або швидкості фактичного зняття припуску. Пристрій містить вузол метрологічного впливу (головку) 3 з аналоговим електричним перетворювачем лінійних переміщень, підсилювач 7, систему самоналагодження 10 із серводвигуном, логічний 18 і виконавчий 15 елементи та показувальний прилад. При використанні пристрою між губками 1 і 5 головки установлюють еталон 4 і вручну виконують грубе й точне налагодження на заданий розмір. Точне налагодження здійснюється за допомогою потенціометра 13 та тригера 14.

Для здійснення самоналагодження до підсилювача 7 через контакти 8 підключається потенціометр 6. За допомогою потенціометрів 6 і 9 можна

змінити коефіцієнт підсилення вимірювального тракту системи, що визначає момент спрацьовування тригера 14. Під час самоналагодження логічний елемент 18 через сервопривод обертає движок потенціометра 6 до спрацьовування тригера 14. При цьому контакт 17 замикається, що обумовлює спрацьовування реле 16, яке через контакти 11 і 12 вмикає в роботу в режимі противмиканням серводвигун 19, а потім через контакт 11 його вимикає. Таким чином, здійснюється автоматичне налагодження вимірювальної системи на заданий розмір. Далі система через контакти 8 перемикається на потенціометр 9. Движки потенціометрів 6 і 9 в циклі самоналагодження повертаються таким чином, що зміна опору на одному потенціометрі приводить до такої самої, але протилежної за знаком зміни опору на іншому потенціометрі. Протягом робочого циклу включений потенціометр 9.

Наприкінці обробки чергової заготовки 2 система автоматично перемикається на потенціометр 6, в результаті чого цикл самоналагодження завершується. Якщо розмір заготовки відрізняється від заданого, цикл автоматичного налагодження повторюється. Таким чином, корекція положення заготовки здійснюється з урахуванням поправки, що була визначена раніше і введена в пам'ять з подачею сигналу корекції за розмірами обробленої деталі. В процесі обробки вимірювальна головка 3 періодично відводиться, а між її губками установлюється еталон 4. Якщо має місце відхилення від заданої точності налагодження, обумовлене, наприклад, зношуванням контактних наконечників або температурними деформаціями в системі, то за еталоном шляхом зміни положення движка потенціометра 13 здійснюється автоматична корекція точності налагодження.

Використання систем, що працюють згідно із методом налагодження за збуренням, дає можливість введення корекції ще і в процесі здійснення контролю заготовки. Кориговальний сигнал формується після вимірювання параметрів кожного з вибраних для оцінювання впливів і подальшого обчислення необхідної поправки. Даний метод останнім часом одержав поширення; він застосовується під час контролю розмірів деталей у процесі обробки. При цьому основними впливами, за якими ведеться корекція, є температурні деформації, вібрації та зміна подачі.

В ході обробки великогабаритних виробів (діаметром 50...400 мм) температурні деформації при перепаді температур в 10...20 °С досягають 50...80 мкм. Для компенсації вказаних похибок, окрім пристрою, що установлений в зоні обробки і забезпечує контроль розмірів заготовки в процесі різання, на виході установлюють ще один вимірювальний пристрій, за допомогою якого компенсуються основні похибки, які виникають при роботі першого пристрою. Крім цього, застосування другого пристрою дозволяє розділити оброблені заготовки на групи. Допуск на обробку розбивається в другому вимірювальному пристрої

залежно від числа груп (2, 4, 6 і т.д.), що залежить від конкретних умов роботи.

При проектуванні пристрою контролю керування елементи, що утворюють розмірний вимірювальний ланцюг головки звичайно

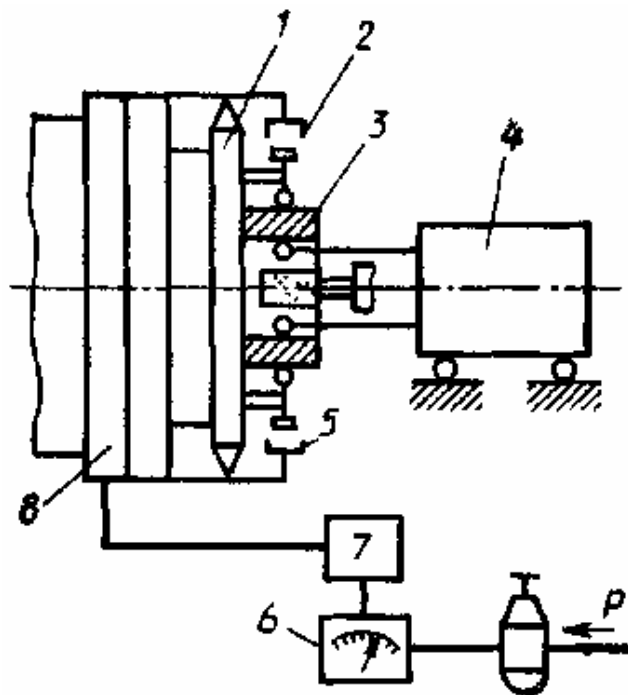


Рис. 9.6. Компенсаційна система, що встановлюється на обертовому шпинделі верстата

виконують із термоконстантних матеріалів (інвару, елівару та інших). Основна проблема при визначенні величини корекції — вимірювання температурних деформацій контрольованої заготовки. Особливістю роботи самоналагоджувальної системи, призначеної для контролю діаметрів доріжок кочення внутрішніх кілець залізничних підшипників в процесі їх обробки на безцентрово-шліфувальному автоматі, є забезпечення компенсації випадкових похибок, пов'язаних з температурними й силовими деформаціями заготовки, що складають 60...80% від загальної похибки обробки. Система включає два вимірювальні блоки: перший забезпечує контроль оброблюваного зовнішнього ді-

аметра кільця й здійснює керування роботою верстата, а другий контролює внутрішній необроблюваний діаметр кільця й забезпечує підналагодження першого блока залежно від величини температурних деформацій.

У тих випадках, коли заготовка не має на обробленій поверхні базової точки, встановлення компенсаційної системи можливе безпосередньо на обертовому шпинделі верстата (рис. 9.6). Основний пристрій 4 здійснює контроль розміру оброблюваної заготовки 3. Компенсаційний пристрій складається з вимірників 2 і 5, що контролюють базовий розмір заготовки, термоконстантного корпусу 1 та знімача сигналу 8. Сигнал надходить у підсумовувальний пристрій 7 і на покажчик керування 6.

У тих випадках, коли базовий вихідний розмір не задається, наприклад, при шліфуванні коротких валів у центрах, коли вся циліндрична поверхня перекривається ріжучою кромкою шліфувального круга, можливе автоматичне обчислення температурної поправки, якщо перед цим установити залежність між зміною температури поверхні заготовки та її температурною деформацією.

Температура контрольованої заготовки може вимірюватись за допомогою спеціальної головки з наконечником, виконаним із

синтетичних полікристалів алмаза з вмонтованою в його тіло штучною термопарою, сигнал від якої подається до порівняльного пристрою. Крім цього, на інший вхід даного пристрою подається сигнал від задавача величини корекції, що визначається конкретними умовами обробки, розмірами заготовки, маркою її матеріалу, теплопровідністю тощо. Далі різниця сигналів через підсилювач надходить на виконавчий елемент пристрою активного контролю, в результаті чого здійснюється корекція точності його налагодження.

Основна група автоматичних пристроїв працює в динамічному

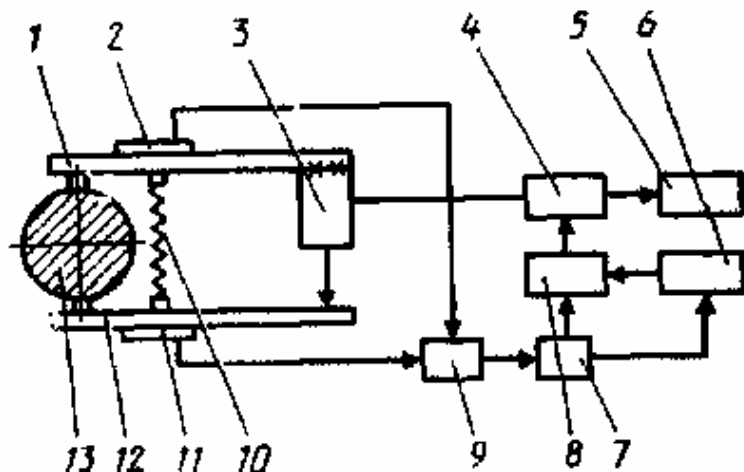


Рис. 9.7 Схема двоточкового пристрою керування та контролю заготовки з основним та додатковим вимірювальними колами

режимі, коли процес контролю супроводжується вібраціями контрольованої заготовки та корпусу пристрою, що впливає на його чутливі елементи. На рис. 9.7 показана схема двоточкового пристрою керування та контролю розмірів заготовки 13, що включає основний та додатковий вимірювальні кола. Основний ланцюг містить важелі 1 і 12, що закріплені шарнірно на корпусі пристрою й притискаються до вимірюваної заготовки пружиною 10, перетворювач вимірюваного сигналу 3, корпус якого жорстко зв'язаний з одним із важелів, релейний блок 4 і виконавчий елемент 5. Додатковий ланцюг вимірювання деформацій чутливих елементів містить закріплені на важелях перетворювачі деформацій 2 і 11, суматор 9, до якого надходять сигнали від перетворювачів, а також блок 6 запам'ятовування статичної деформації чутливих елементів, до входу якого підключений підсилювач 7, а до виходу - компаратор 8.

При настроюванні пристрою перетворювачі 2 та 11 подають сигнали, що відповідають деформації важелів у статичному режимі (при статичній деформації). В суматорі 9 дані сигнали додаються й надходять до підсилювача 7 і далі до блока запам'ятовування 6. Під час контролю заготовки вимірюваний сигнал через важелі 1 і 12 подається на перетворювач 3 з динамічною похибкою, обумовленою відхиленнями деформацій вимірювальних важелів від їх значень у статичному режимі. Сигнал, пропорційний динамічній деформації важелів, подається від перетворювачів деформації 2 і 11 через суматор 9 і підсилювач 7 у компаратор 8, куди одночасно надходить сигнал з блока запам'ятовування 6 статичної деформації важелів 1, 12.

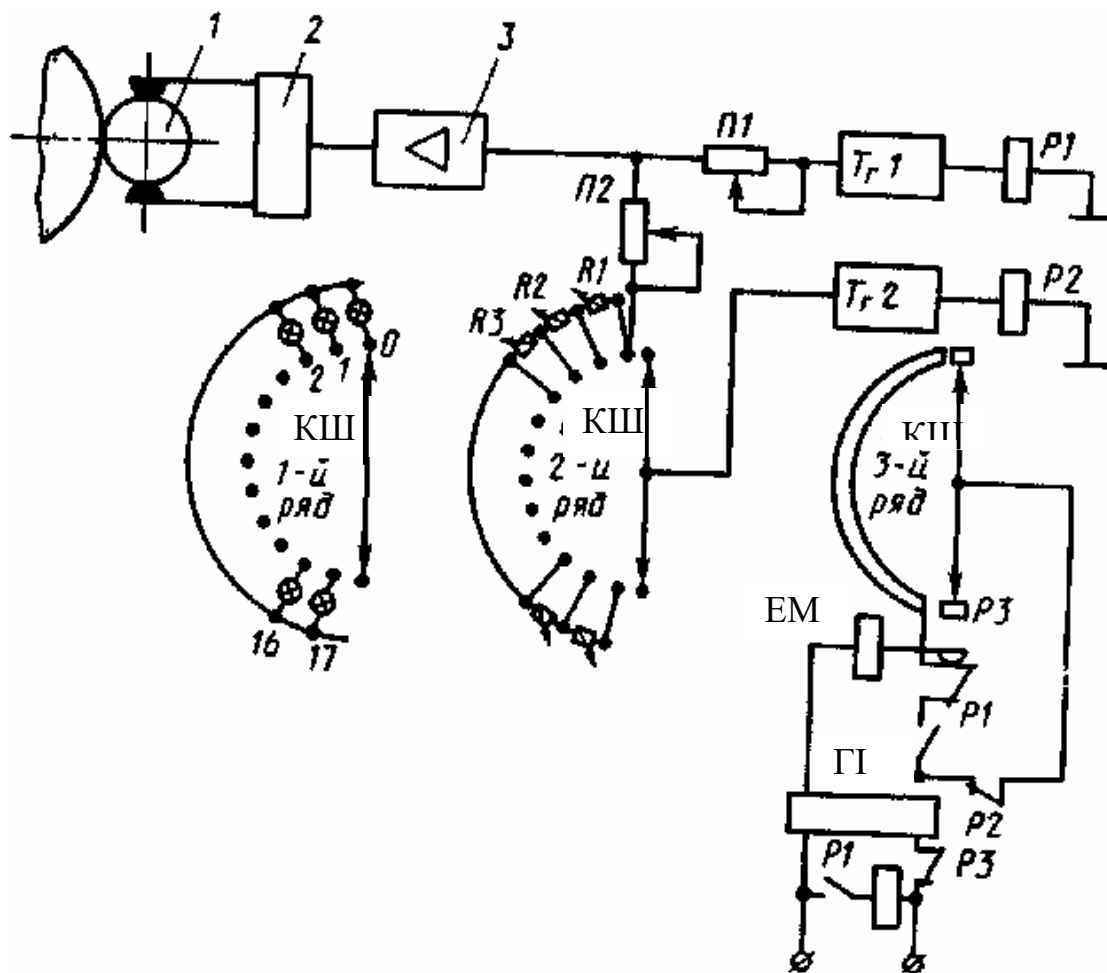


Рис. 9.8. Пристрій дискретного визначення швидкості знімання припуску та корекції параметра налагодження

В момент вирівнювання статичної й динамічної деформацій важелів або перевищення динамічної деформації над статичною, внаслідок подачі від компаратора 8 сигналу, спрацьовує релейний блок 4, що замикає основний ланцюг вимірюваного сигналу, який йде від перетворювача 3 до виконавчого елемента 5. В результаті пропускаються тільки ті вимірювані імпульси, у яких відсутні похибки, викликані деформацією вимірювальних важелів або відривом їх від заготовки.

У ряді випадків основним фактором, що впливає на точність обробки є мінливість швидкості знімання припуску (швидкості зміни поточного розміру заготовки). Розглянемо пристрій (рис. 9.8) дискретного визначення швидкості знімання припуску та корекції параметра налагодження, в якому використовується релейний вихід попередньої та остаточної команд. В процесі обробки розмір заготовки 1, що шліфується, вимірюється за допомогою головки з перетворювачем 2, який подає сигнал до підсилювача 3. Від підсилювача сигнал надходить до тригерів Тг1 і Тг2 попередньої й остаточної команд, що включають реле Р1 і Р2. Основний параметр налагодження тригерів регулюється потенціометрами П1 і П2. Параметр налагодження тригера Тг2 залежить також від положення щіток

крокового шукача КШ, в якому включені регульовані регістри R1 і R16. При установленні щіток на нульову відмітку сигнал від потенціометра П2 надходить до тригера Тг2 через весь ланцюжок регістрів R1 - R16. Таке положення щіток відповідає настроюванню тригера Тг2 на видачу остаточної команди без врахування швидкості знімання припуску. Електромагніт ЕМ крокового шукача спрацьовує від стабілізованого генератора імпульсів ГІ. Імпульси до електромагніта ЕМ можуть надходити через контакти Р1 і Р3 або через контакти Р2 і суцільний сектор третього ряду крокового шукача КШ, у перший ряд якого включені лампочки, що сигналізують про положення його щіток. Корекція починається після спрацьовування реле Р1 і переміщення шукача на один крок.

Пристрій працює в такий спосіб. В момент, коли контрольований оброблюваний розмір заготовки досягає значення, що відповідає параметру налагодження тригера Тг1, спрацьовує реле Р1, в результаті чого через його контакти замикається ланцюг надходження імпульсів до комп'ютера та ланцюга живлення реле Р3. Останнє спрацьовує з витримкою, що дорівнює тривалості одного-двох імпульсів, і таким чином, через його контакти розривається один з ланцюгів живлення ЕМ.

Однак імпульси на ЕМ продовжують надходити через контакти Р2 і суцільний сектор КШ. В момент, коли величина контрольованого розміру відповідатиме поточному параметру налагодження тригера Тг2, спрацьовує реле Р2 і забезпечує подачу з попередженням команди на відведення шліфувальної бабки. Внаслідок розмикання контактів Р2, припиняється рух щіток КШ й спрацьовує ланцюг живлення ГІ. Відповідна лампа в першому ряду КШ сигналізує про корекцію параметра налагодження. Повернення щіток КШ у вихідне положення відбувається при подачі команд у черговому циклі обробки, на етапі відключення реле Р2. Імпульси до ЕМ надходять через суцільний сектор КШ доти, поки щітки не установляться на нульову позначку. Описаний пристрій реалізований на базі пристрою активного контролю АК-3М

Найбільш складними, але й найбільш досконалими є комбіновані системи з автоматичним налагодженням за відхиленням від заданого розміру та з корекцією за збуренням. Застосування даних систем дозволяє не тільки підтримувати задану точність механічної обробки при відхиленні фактичного значення параметра від заданого на основі отриманої раніше апостеріорної інформації, але й встигнути ввести з врахуванням поточних даних про зміну робочих параметрів поправку на точність налагодження, якщо в ній буде потреба. При цьому дана поправка буде відпрацьована вже під час обробки тієї ж заготовки.

Розглядувані системи мають найширші виробничі можливості, оскільки в них в значній мірі усунені недоліки пристроїв, що реалізують методи налагодження за відхиленням та за збуренням. Реальні виробничі умови характеризуються своїм набором параметрів. У зв'язку з цим,

вимірники окремих збурень у випадку відсутності їх помітного впливу на параметри налагодження, можуть бути відключені.

На рис. 9.9 наведена схема пристрою активного контролю з автоматичним налагодженням за інформацією трьох видів. Сигнал від індуктивного перетворювача та ланцюга зсуву нуля алгебраїчно додається в суматорі, підсилюється й надходить у фазовий детектор, який живиться від задавального генератора. У фазовому детекторі змінна напруга перетворюється в постійну знакозмінну напругу, що надходить через фільтр низької частоти у формувач команд.

Блок автоматичного налагодження за апріорною інформацією містить три тригерно-релейні перетворювачі, нормально розімкнені контакти яких P1, P2, P3 можуть забезпечувати приєднання до інтегруючого кола одної з додаткових ємностей C1, C2 або C3 і завдяки цьому зміню параметра налагодження (остаточної команди). Вимірювальна головка пристрою служить для здійснення контролю діаметра заготовки починаючи з моменту її установа на позиції обробки. Весь припуск на шліфування ділиться на три групи. Залежно від того, до якої групи відноситься конкретна оброблювана заготовка, спрацьовує відповідне реле P1, P2 або P3, в результаті чого забезпечується необхідна корекція остаточної команди. В пристрої розглядуваної структури блок підналагодження за апріорною інформацією дозволяє здійснювати компенсацію похибки, пов'язаної з температурними деформаціями заготовки під час її обробки.

Блок поточної інформації, призначений для обмеження некруглості оброблюваної заготовки, містить пристрій узгодження, фільтр високої частоти, підсилювач змінної напруги, детектор, підсилювач постійної напруги УПТ і формувач команд. Останній елемент настраюється таким чином, щоб у випадку перевищення певного значення похибки форми поперечного перерізу оброблюваної заготовки забезпечити на етапі чистового шліфування зменшення автоматичної подачі бабки шліфувального круга. Блок починає функціонувати після спрацьовування реле попередньої команди (у момент замикання контактів). Якщо при переході від чорнового шліфування до чистового некруглість у контрольованому перерізі перевищує задане значення, формувач команд подає команду на збільшення тривалості етапу чистового шліфування, що приводить до зменшення похибки форми в поперечному перерізі оброблюваної заготовки.

Блок автоматичного налагодження за апостеріорною інформацією містить вимірювальний блок, блок порівняння з лічильником імпульсів та виконавчий механізм підналагодження. Він дозволяє здійснювати автоматичне налагодження за середнім розміром оброблюваних заготовок партії, обмірюваних на робочій позиції.





режиму різання, геометрії ріжучого інструменту, динамічних характеристик шпиндельних груп та інших факторів і якщо лінійні або обертальні рухи виконавчих елементів відбуваються нерівномірно. Очевидно, що високих точності й продуктивності обробки можна досягти тільки шляхом поєднання високої точності та ефективності обладнання, а також аналогічних параметрів пристроїв контролю керування.

Сучасні прецизійні верстати забезпечують обробку заготовок із точністю, близькою до можливостей виміральної техніки. Однак для подальшого підвищення точності обробки необхідно розв'язати такі задачі:

- створити математичні моделі для розрахунку залежностей між конструктивними параметрами верстата, робочими параметрами процесу механічної обробки та вихідним параметром - точністю оброблюваної заготовки;

- вирішити ще на стадії проектування проблему дотримання точності компонування вузлів та елементів обладнання, створити раціональні схеми, визначити та забезпечити оптимальні жорсткість та динамічні характеристики;

- підвищити геометричну точність елементів верстата, що визначає точність обробки та складання, установити функціональний зв'язок між геометричною точністю оброблюваних заготовок та точністю верстата на стадії його проектування;

- розробити для верстатів з ЧПК методи визначення тривимірних просторових помилок;

- на основі розв'язання задачі про розподіл температурних полів реалізувати стабілізацію температурних деформацій;

- забезпечити керування точністю позиціонування в багатокординатних верстатах.

Аналіз процесів формоутворення при обробці заготовок на верстатах різного технологічного призначення дозволяє зробити висновок про те, що основними вихідними параметрами верстата як елемента технологічної системи є характеристики точності відтворення заданої траєкторії переміщення вузлів, що несуть інструмент та заготовку.

Установлення залежності між динамічними параметрами технологічних систем та збуреннями (змінами режимів різання, геометрії інструмента, температурних деформацій), а також між просторовими переміщеннями в зоні обробки та виникненням відхилень параметрів точності дозволяє підійти до опису моделі процесу обробки та розробки ефективних шляхів керування. Подальше підвищення точності металорізального обладнання повинне йти в основному шляхом комплексного розв'язання перерахованих проблем. Найбільш повний розв'язок може бути отриманий при застосуванні систем активного контролю й керування точністю обробки за допомогою комп'ютерної техніки.

Важливе значення поряд з контролем похибок розміру оброблюваних заготовок одержує регулювання процесу залежно від похибок форми. З'являється проблема забезпечення необхідної якості та точності вимірювання, оскільки в одиницю часу потрібно обробити велике число обмірюваних величин. Окрім вимірювання розмірів та форми заготовок викликає інтерес забезпечення їх обробки із дотриманням заданої якості поверхні. Однак придатних пристроїв для розв'язання поставленої задачі поки не існує. Відомі лише окремі пристрої для регулювання процесу обробки за шорсткістю поверхні заготовки.

Для верстатів з ЧПК потрібні непереналагоджувані вимірювальні пристрої. Незважаючи на усунення впливу на процес керування верстатом суб'єктивних факторів, все ж таки, на одному з трьох етапів (установлення, статичного або динамічного налагодження) виникають похибки, що не дозволяє скорочувати обсяг контрольних операцій. Для контролю деталей в автоматизованому дрібносерійному виробництві використовуються контрольні-вимірювальні машини (КВМ). Так, наприклад, в автоматизованому технологічному комплексі (АТК) для обробки корпусних заготовок моделі «ПРИЗМА-2» (виробництва НДР) підсистема контролю працює у такій послідовності. Після закріплення заготовки в пристосованні-супутнику вона подається на КВМ, де здійснюється її автоматичне обмірювання з метою визначення необхідного положення в супутнику, а також обчислення значень припусків. Міжопераційний та атестаційний контроль заготовок забезпечують дві інші КВМ, кожна з яких з метою збільшення продуктивності вимірювання оснащена двома незалежними вимірювальними головками. Для керування КВМ і виконання різних обчислювальних операцій, пов'язаних з вимірюваннями, служить спеціальний комп'ютер. Підсистема здійснює контроль всіх заготовок після завершення кожної операції механічної обробки. Така організація підсистеми контролю деталей є типовою для АТК.

Результати робіт зі створення адаптивних систем керування технологічними процесами механічної обробки дозволяють підійти до розробки нових способів оцінювання точності заготовок безпосередньо в процесі їх обробки. Суть їх полягає в тому, що всі взаємодії в технологічній системі, а саме процеси установлення, статичного та динамічного налагодження в остаточному підсумку спрямовані на досягнення й збереження необхідного положення ріжучої кромки (кромки) інструмента відносно комплекту технологічних баз у певний момент часу. У зв'язку із цим, визначаючи поточне відносне положення ріжучої кромки інструмента й баз заготовки в процесі обробки, можна одержувати інформацію про точність заготовки в ході її формування.

При розробці нового способу оцінювання точності важливе забезпечення інформаційного процесу з дотриманням заданих параметрів точності під час реалізації технологічного процесу. Будь-яка технологічна операція є запланованим і керованим заходом, розробка якого

супроводжується вибором: послідовності виконання переходів, верстата, пристосувань й інструмента, методів і режимів обробки й т.д. При цьому вибір (ухвалення рішення) ґрунтується на даних про технологічний процес та діючі фактори. У той же час кожне ухвалене рішення також є інформацією, яку в тій або іншій формі необхідно довести до робочого місця. Задана точність заготовки при виконанні операції буде досягтися, якщо ухвалені рішення будуть правильними й, що не менш важливо, доведені до робочого місця без перекручувань.

З переходом до автоматизованого виробництва присутність робітника біля верстата буде не тільки суперечити основним принципам автоматизації, але й не дасть відчутних позитивних результатів, оскільки фізичні можливості людини при здійсненні спостереження та регулювання технологічними процесами обмежені, тоді як швидкості їх протікання постійно зростають. Для створення автоматичних систем керування, використання яких дасть можливість відсторонити робітників від функцій керування, необхідне глибоке розуміння механізму інформаційних процесів.

Зміст керуючої інформації для забезпечення точності на тій або іншій операції визначається переліком факторів, що впливають на процес механічної обробки. Інформація керування формується при розробці технологічного процесу, причому для досягнення необхідної точності обсяг її має бути достатнім для повного усунення ентропії процесу. Всі лінійні переміщення та повороти, які здійснюються в процесі обробки, ріжучий інструмент та технологічні бази в більшості випадків можна задати відносно двох координатних систем. При необхідності додатково вводиться незалежна система координат, що служить вимірювальною базою (базою відліку).

В процесі технологічних досліджень мають бути установлені зв'язки між координатними системами інструмента, базами заготовки, незалежними системами координат та координатами точок обробленої поверхні заготовки. Оскільки розрахунки з установлення вказаних зв'язків є досить трудомісткими, а для одержання оперативної інформації про точність заготовки в процесі її обробки всі обчислення необхідно виконувати по можливості швидко, для їх автоматизації розробляються комп'ютерні програми.

З метою реалізації більш ефективних способів оцінювання точності необхідно, в першу чергу, задати координатні системи, пов'язані з інструментом та технологічними базами заготовки. Для виконання відповідних розрахунків потрібні сучасні швидкодіючі комп'ютери зі спеціальним програмним забезпеченням. Комплекс таких засобів надалі буде йменуватися системою оцінювання точності (СОТ). Гострий інтерес і разом з тим певні труднощі викликає розв'язання задачі визначення та забезпечення оптимальної точності елементів СОТ. В описі службового призначення СОТ необхідно вказувати задану точність заготовки, яку

потрібно досягти в результаті обробки. Вона в остаточному підсумку визначає допустиму похибку вимірювання СОТ. Для обґрунтованого переходу від заданої точності обробки заготовки до допустимих похибок елементів СОТ розроблена спеціальна методика, що включає такі основні етапи як: перехід від заданої точності заготовки до допустимої похибки вимірювання; розділення допустимої похибки вимірювання на похибку, яка вноситься не охопленими СОТ факторами та похибку СОТ; розділення останньої на похибку заготовки та похибку положення інструмента. Далі здійснюється перехід до допустимих похибок перетворювачів.

Крім того, одним з напрямків подальших досліджень може бути аналіз можливості використання інформації, що надходить від СОТ під час діагностики відмов технологічної системи. Метою технічної діагностики є (див. розд. 6.1) перевірка якості, працездатності, правильності функціонування верстатних комплексів, а також пошук в них несправностей, що виникли на стадіях виготовлення, налагодження або експлуатації.

Створення СОТ дозволить розв'язувати задачі діагностики на останньому етапі, тобто в процесі експлуатації верстата, в тому числі прогнозувати його технічний стан у деякий майбутній момент часу. Розв'язуються такі задачі шляхом визначення можливих або ймовірних змін стану верстата, що починаються в даний момент часу.

Отже, оцінювання стану об'єкта в конкретний момент часу, тобто його технічне діагностування, що може бути здійснене за допомогою СОТ, є важливим моментом при прогнозуванні ресурсу роботи обладнання.

## Література

1. Комаров Н.Ф. Наладка и эксплуатация электрооборудования металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1974. – 384 с.
2. Мозгалевский А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика (непрерывные объекты). - М.: Высшая школа, 1975. – 207 с.
3. Сергиевский Л.В. Наладка, регулировка и испытания станков с программным управлением. - М.: Машиностроение, 1974. – 299 с.
4. Брон Л.С., Тартаковский Ж.Э. Гидравлический привод агрегатных станков и автоматических линий. 3-е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.
5. Лещенко В.А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. - М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
6. Гольдин М.М., Зуев В.Д., Иванцев Л.А. Наладка и эксплуатация агрегатных станков и автоматических линий: Справочное пособие. 2-е изд., перераб. - М.: Машиностроение, 1974. – 456 с.
7. Следящие приводы/ Под ред. Б.К. Чемоданова. - М.: Энергия, 1976. Книга первая 480 с., книга вторая 384 с.
8. Севост'янов І.В. Експлуатація та обслуговування машин. Лабораторний практикум. - Вінниця: ВНТУ, 2004. – 88 с.
9. Сергиевский П.В. Наладка и эксплуатация станков с устройствами ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1981. – 240 с., ил.
10. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 588 с.
11. Соломенцев Ю.М., Сосонкин В.Л. Управление гибкими производственными системами. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
12. Ашенберг Э.А., Майорова Э.А., Барт В.Е. Клееные цилиндрические зубчатые колеса. – Станки и инструмент. - 1973. - №10.
13. Верхотуров Б.Я., Марков Н.Н. Прибор для контроля кинематической точности механизмов. – Станки и инструмент. - 1964. - №9.
14. Металлорежущие станки. Учеб. пособие для вузов. Н.С.Колев, Л.В.Красниченко, Н.С.Никулин. – М.: Машиностроение, 1980. – 500 с.

*Навчальне видання*

Іван Вячеславович Севостьянов

## **ЕКСПЛУАТАЦІЯ ВЕРСТАТНИХ КОМПЛЕКСІВ**

Навчальний посібник

Ч.І

Оригінал-макет підготовлено автором

Редактор В.О.Дружиніна  
Коректор З.В.Поліщук

Навчально-методичний відділ ВНТУ  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку  
Формат 29,7x42¼  
Друк різнографічний  
Тираж прим.  
Зам. №

Гарнітура Times New Roman  
Папір офсетний  
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ