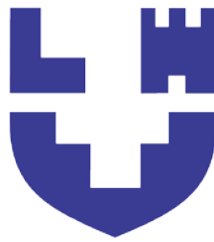


**Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет**



АВТОМАТИЗОВАНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ

Конспект лекцій

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої
програми «Мікро- та наносистемна техніка»
галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2026

Рекомендовано до видання вченою радою факультету робототехніки та штучного інтелекту ЛНТУ, протокол № __ від «__» _____ 2026 року.

Голова Вченої ради факультету РАІ _____ Анатолій ТКАЧУК

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ

Директор бібліотеки _____ Наталія ПОЛІЩУК

Затверджено вченою радою факультету робототехніки та штучного інтелекту ЛНТУ, протокол № __ від «__» _____ 2026 року.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри автоматизації та безпілотних систем ЛНТУ, протокол № __ від «__» _____ 2026 року.

Завідувач кафедри АтаБС _____ Лариса ГУМЕНЮК

Укладач: _____ Віктор ДЕНИСЮК, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та автоматизації та безпілотних систем ЛНТУ.

Рецензент: _____ Олег КАЙДИК, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та охоронних систем ЛНТУ.

Відповідальний за випуск: _____ Лариса ГУМЕНЮК, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації та безпілотних систем ЛНТУ.

Автоматизовані вимірювальні комплекси : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка денної та заочної форм навчання / уклад. В.Ю. Денисюк. Луцьк : ЛНТУ, 2026. 120 с.

Конспект лекцій містять теоретичний матеріал, необхідний для розкриття дисципліни. Лекційний матеріал сприяє оволодінню студентом теоретичного базису, розвитку навичок розрахунково-аналітичної роботи, розкриттю можливостей використання отриманих знань на практиці. Призначено для студентів спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка денної та заочної форми навчання.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
Тема 1 Призначення та основні характеристики автоматизованих вимірювальних комплексів	7
1.1 Основні терміни та визначення.....	7
1.2 Поєднання функцій контролю з автоматичним керуванням.....	9
1.3 Роль і місце автоматизованих вимірювальних комплексів у виробничому процесі.....	10
1.4 Роль автоматичних засобів контролю в машино- і приладобудуванні.....	11
1.5 Класифікація приладів автоматичного контролю.....	13
1.6 Принципи забезпечення точності лінійних вимірювань.	14
1.7 Критерії вибору автоматизованих засобів вимірювання.....	15
Тема 2 Елементи систем автоматизованого контролю.....	17
2.1. Класифікація та призначення елементів систем.....	17
2.2. Стандартизація та уніфікація елементів систем.....	19
2.3. Вимірювально-перетворюючі елементи.....	20
2.4. Електроконтактні вимірювальні перетворювачі.....	20
2.5. Індуктивні вимірювальні перетворювачі.....	22
2.6. Пневматичні вимірювальні перетворювачі.....	24
Тема 3 Операційні системи активного контролю	27
3.1 Підсилювачі сигналів.....	27
3.2 Використання операційних підсилювачів.....	28
3.3 Виконавчі пристрої.....	29
3.4 Дискретні елементи.....	30
3.5 Приводні електричні двигуни.....	30
Тема 4 Автоматичні підналагоджувальні системи	34
4.1 Призначення та класифікація систем активного контролю.....	34
4.2 Методи контролю і структурна побудова систем управління точністю оброблення.....	36
4.3 Первинні перетворювачі і вимірювальна оснастка.....	37
4.4 Особливості побудови кінематичних схем вимірювальних перетворювачів.....	37
4.5 Пристрої формування команд управління.....	38
4.6 Вимірювальні схеми пневматичних приладів.....	39
4.7 Вимірювальні схеми індуктивних приладів.....	41
4.8 Підсилювальні, виконавчі та допоміжні пристрої управляючих приладів.....	43

Тема 5	Методи застосування систем автоматизованого контролю.....	45
	5.1 Системи автоматичного підналагодження.....	45
	5.2 Виносний контроль розмірів.....	46
	5.3 Системи активного контролю для спряженого оброблення деталей.....	47
	5.4 Комбіновані системи контролю.....	47
Тема 6	Метрологічні та технологічні основи точності автоматичного контролю розмірів.....	51
	6.1 Характеристика похибок розмірів.....	51
	6.2 Критерії оцінки похибок розмірів.....	52
	6.3 Визначення похибок контролю в процесі оброблення....	54
	6.4 Побудова схем налагодження.....	55
	6.5 Аналіз точності підналагоджувальних систем.....	56
	6.6 Підналагодження за однією деталлю	57
Тема 7	Самоналаштовувальні системи активного контролю розмірів	60
	7.1 Групи самоналагоджувальних систем.....	60
	7.2 Двоступеневі системи активного контролю.....	60
	7.3 Самоналагоджувальний прилад активного контролю з еталоном.....	61
	7.4 Комбіновані системи.....	62
Тема 8	Лазерні системи активного контролю.....	65
	8.1 Напрями застосування лазерних систем активного контролю.....	65
	8.2 Класифікація лазерних методів для лінійних вимірювань.....	66
	8.3 Лазерні системи з поздовжнім і поперечним наведеннями.....	66
Тема 9	Системи автоматичного контролю і діагностування в гнучких виробничих системах.....	71
	9.1 Структура і принципи функціонування систем контролю та діагностування.....	71
	9.2 Принципи, методи і засоби контролю ріжучого інструменту, заготовок і деталей.....	73
Тема 10	Координатно-вимірювальні машини та багатомірні пристрої.....	79
	10.1 Координатно-вимірювальні машини (КВМ).....	79
	10.2 Контроль похибок переміщень робочих органів вимірювальних машин.....	80
	10.3 Багатомірні пристрої та прилади.....	82
Тема 11	Вимірювальні роботи та робототехнічні комплекси.....	84
	11.1 Робот, маніпулятор – основні поняття і визначення.....	84
	11.2 Призначення вимірювальних роботів.....	85

	11.3 Схеми і конструкції вимірювальних роботів.....	85
	11.4 Робототехнічні комплекси у автоматизованих виробництвах.....	87
Тема 12	Продуктивність автоматичних засобів вимірювання.....	89
	12.1 Циклограми роботи автоматичних засобів.....	89
	12.2 Пристрої управління циклом роботи.....	91
	12.3. Порівняння архітектури мікропроцесорів.....	92
	12.4 Узгодження навантажень виконавчих елементів.....	93
Тема 13	Автоматичні вимірювальні машини і контрольно-сортувальні автомати.....	95
	13.1 Призначення та область застосування автоматичних вимірювальних машини (АВМ) і контрольно-сортувальних автоматів (КСА).....	95
	13.2 Структурні схеми.....	96
	13.3 Контрольні пристрої.....	98
	13.4 Пристрої оброблення вимірювальної інформації.....	99
	13.5 Транспортуючі пристрої АВМ і КСА, конвеєри, мікроліфти.....	101
	13.6 Орієнтатори, накоплювачі деталей.....	101
	13.7 Сортуючі та допоміжні пристрої.....	103
	13.8 Аналізатори і коректори стаціонарності потоку.....	104
Тема 14	Повірка та надійність автоматизованих вимірювальних комплексів.....	106
	14.1 Методики повірки АВМ і КСА.....	106
	14.2 Забезпечення надійності АВК.....	107
	14.3 Методика випробування і калібрування приладів активного контролю.....	109
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	119

ВСТУП

Автоматизовані засоби вимірювання – невід’ємна складова технічного забезпечення сучасного технологічного процесу. Автоматичним засобам вимірювання і контролю відводиться особлива роль у підвищенні ефективності виробництва та покращенні якості продукції, так як у сучасних умовах вимірювальна техніка призначається не тільки для контролю якості виробів, але й для формування інформації з управління якістю, забезпечення об’єктивності вимірювань, підвищення точності й надійності роботи машин та продуктивності виробництва.

У курсі «Автоматизовані вимірювальні комплекси» розглядаються методи та засоби для вимірювання розмірних параметрів деталей та вузлів механізмів. Особливістю даного конспекту лекцій є комплексний підхід до розгляду методів та засобів, що використовуються для вимірювання, а також метрологічних та технологічних основ забезпечення точності автоматичного контролю розмірів.

Автоматизація контрольних операцій може здійснюватися у технологічному процесі як за активного операційного, так і за післяопераційного контролю, які є принципово різними напрямками застосування технічного контролю. Обидва методи мають важливе значення з огляду забезпечення необхідної якості продукції.

За допомогою засобів вимірювання ми отримуємо інформацію про розмірні параметри, або, у загальному, про якість продукції. Але не менш важливе значення має й інша функція засобів вимірювання – функція регулювання й управління, яка здійснюється у формі «активізації» керування технологічними процесами. Розвиток активного контролю є дуже важливою умовою підвищення якості виробів, автоматизації технологічних процесів високої точності, зниженню витрат від браку та витрат на контрольні функції.

У курсі «Автоматизовані вимірювальні комплекси» розглядаються технологічні похибки для різних видів оброблення та методи їх компенсації. Значну увагу приділено розгляду приладів та пристроїв автоматичного контролю, починаючи від побудови та принципу перетворення різного роду датчиків і закінчуючи системами активного контролю та автоматичними вимірювальними комплексами для післяопераційного контролю деталей.

ТЕМА 1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

План

- 1.1 Основні терміни та визначення.
- 1.2 Поєднання функцій контролю з автоматичним керуванням.
- 1.3 Роль і місце автоматизованих вимірювальних комплексів у виробничому процесі.
- 1.4 Роль автоматичних засобів контролю в машино- і приладобудуванні.
- 1.5 Класифікація приладів автоматичного контролю.
- 1.6 Принципи забезпечення точності лінійних вимірювань.
- 1.7 Критерії вибору автоматизованих засобів вимірювання.

1.1 Основні терміни та визначення

Офіційні терміни і визначення у галузі вимірювань регламентуються державним стандартом (ДСТУ 2681-94 “Метрологія. Терміни та визначення”).

Вимірювання – знаходження значення фізичної величини практичним шляхом з допомогою спеціальних технічних засобів. Абсолютні вимірювання ґрунтуються на прямих вимірюваннях основних величин. Відносні вимірювання визначають відношення вимірюваної величини до однойменної величини, яка відіграє роль одиниці або прийнята за вихідну.

Технічний контроль – перевірка відповідності продукції встановленим технічним вимогам. У загальному розумінні, контроль – це процес встановлення відповідності між станом або властивостями об’єкта контролю і заданою нормою. Під час контролю розмірів встановлюють, чи знаходиться фізична величини між двома заданими границями (в межах поля допуску).

По суті контроль – це одна з найпростіших форм вимірювання, так як у процесі контролю фізична величина порівнюється з заданою нормою, а у процесі вимірювання – з одиницею вимірювання.

Фізична величина – особливість фізичних об’єктів або явищ, загальна для них у якісному відношенні, що використовується як кількісна оцінка. Наприклад, довжина, кут, маса, температура.

Впливаюча фізична величина – величина, яка не є об’єктом вимірювання, але може впливати на результати вимірювання; вона може бути врахована або усунута. Впливаючі величини, як правило, характеризують умови вимірювання.

Збурююча величина (перешкода, завада) – величина, що спотворює результат вимірювання; усунути або врахувати її важко, а часто й неможливо.

Розмір фізичної величини – кількісне вираження конкретної фізичної величини.

Дійсний розмір – розмір, встановлений вимірюванням з допустимою похибкою. Чим менша похибка, тим більшою мірою дійсний розмір

наближається до істинного, що ідеально відтворює фізичну величину.

Принцип дії засобу вимірювання – фізичний принцип, покладений у основу побудови засобу вимірювання даного типу.

Метод вимірювання – сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювання.

Вимірювана величина (параметр) – величина або параметр, значення якого повинно бути визначене у процесі вимірювання. Цю величину або параметр називають функціональним або інформативним.

Вимірювальна інформація – інформація про значення вимірюваних фізичних величин.

Якщо говорити про фізичну інформацію, тобто про ту, якою оперують фізики, то її можна було б визначити наступним чином: інформація – це умовні сигнали, у яких виражаються властивості, параметри, співвідношення об'єктів реального світу.

Отже, інформація – це умовні сигнали про властивості, параметри тіл, а не самі властивості, не самі параметри тіл і не фізичні тіла. Без такого чіткого розмежування ми неодмінно прийдемо до такого положення, що всі науки – це або кібернетика, або інформатика, а фізики, хімії, біології немає. Скрізь інформація, а процесів, тіл, їх об'єктивних властивостей немає. З розвитком інформатики, обчислювальної техніки і проникненням їх досягнень у різні сфери діяльності людини, термін інформація вживається досить широко.

Сигнал вимірювальної інформації або вимірювальний сигнал – сигнал, функціонально зв'язаний з фізичною величиною, яка вимірюється. Носіями сигналу можуть бути: механічний елемент, електричний параметр, магнітне поле, світловий промінь, звукове коливання.

Засіб вимірювання – технічний засіб, призначений для вимірювання фізичних величин, що має нормовані метрологічні характеристики. Наприклад, перетворювач, прилад, система, автомат, комплекс.

Вимірювальний перетворювач створює сигнал вимірювальної інформації у формі, зручній для його передачі, зберігання, подальшого перетворення, але недоступний для безпосереднього сприйняття людиною.

Для первинних перетворювачів, які безпосередньо контактують з об'єктом вимірювання, часто застосовують термін «датчик», а також дозволений до використання термін «сенсор».

Вимірювальний прилад призначений для створення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття людиною.

Вимірювальна система – це поєднання або сукупність засобів вимірювання і додаткових пристроїв, з'єднаних між собою каналами зв'язку.

Поєднання систем для одночасного вимірювання декількох фізичних величин, називають вимірювальними комплексами.

Автоматизований вимірювальний комплекс може включати інформаційно-вимірювальні системи і системи автоматичного керування. У автоматичних засобах вимірювання процеси перетворення, передачі,

оброблення і використання вимірювальної інформації відбувається без участі людини.

1.2 Поєднання функцій контролю з автоматичним керуванням

Існуючі методи контролю розмірів деталей поділяються на методи післяопераційного (пасивного) контролю та методи технологічного (активного) контролю.

У післяопераційному контролі з допомогою засобів вимірювання фіксується значення певних параметрів деталей або виробів з метою їх розбракування або сортування. Активний контроль розмірів в основному відповідає поняттю «регулювання розміру».

Суттєво відрізняються і засоби вимірювання, які використовуються для реалізації кожного з методів. У першому випадку – це, як правило, спеціальні автоматизовані машини, які можуть працювати автономно. Для активного контролю використовуються спеціальні прилади та вимірювальні системи, які працюють у комплексі з металооброблювальними верстатами.

До активного відноситься будь-який метод контролю, за результатами якого вручну або автоматично здійснюється вплив на технологічний процес. У обох випадках з допомогою вимірювальних приладів значення параметру регулювання порівнюється з деяким заданим значенням.

Різниця між поняттями «активний контроль» і «автоматичне регулювання» полягає у наступному:

1. Активний контроль може не включати зворотніх зв'язків, тоді як системи автоматичного регулювання завжди замкнуті.
2. За активного контролю керування процесом може здійснюватися як автоматично, так і вручну.
3. За активного контролю процеси контролю і управління можуть не співпадати у часі.
4. Системи автоматичного регулювання приходять у дію, якщо виникають розбіжності поточного значення параметра контролю з заданим значенням, тобто мають неперервну характеристику. Більшість існуючих систем автоматизованого контролю приходять у дію (спрацьовують) в момент досягнення рівня поточного значення параметра контролю з заданим, тобто мають дискретну характеристику.
5. Точність системи автоматичного регулювання визначається в основному динамічними похибками, систем активного контролю – впливом технологічних і метрологічних чинників.

Отримання заданого розміру може здійснюватись не тільки з допомогою регулювання, але й з допомогою управління розмірами.

Основна відмінність системи управління від системи автоматичного регулювання – відсутність розмірних зворотніх зв'язків (рис. 1.1). Система активного контролю може мати характер як системи автоматичного управління, так і системи автоматичного регулювання.

Системи автоматизованого контролю розмірів належать до систем програмного управління. За технологічного контролю програма задається вимірювальним пристроєм, попередньо налагодженим на заданий розмір по зразковою деталлю. Під час післяопераційного контролю масив деталей за програмою розподілу розділяється на задані розмірні групи.

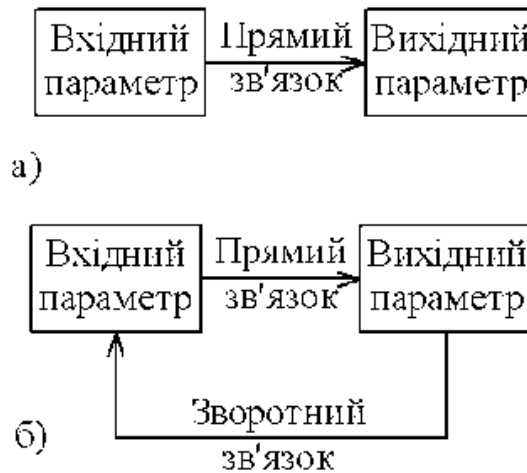


Рисунок 1.1 – Схема автоматичного управління (а) і регулювання (б)

1.3 Роль і місце автоматизованих вимірювальних комплексів у виробничому процесі

У переважній більшості автоматизовані засоби вимірювання розмірів використовуються у комплексі з технологічним обладнанням, або у складі автоматичних ліній, модулів, виробничих систем. Такі поєднання технологічного обладнання з автоматизованими вимірювальними комплексами утворюють системи автоматичного управління точністю оброблення.

Це дозволяє підвищити якість виробів, автоматизувати технологічні процеси високої точності, знизити втрати від браку і витрати на контрольні операції.

Розвиток засобів вимірювання розмірів здійснюється за двома напрямками:

1. Вимірювання та контроль розмірів у процесі виготовлення деталей.
2. Вимірювання і контроль розмірів деталі до або після оброблення – поза зоною оброблення.

Сукупність засобів вимірювання, що використовуються для контролю розмірів у процесі оброблення деталей отримали назву: системи активного контролю.

Вимірювання розмірів деталей поза зоною оброблення отримало назву: виносний контроль, а сукупність технічних засобів, що використовуються для цього – системи та комплекси післяопераційного контролю. До засобів

вимірювання, що здійснюють контроль розмірів поза зоною оброблення відносяться: автоматичні вимірювальні машини, вимірювальні роботи, координатно-вимірювальні машини, контрольно-сортувальні і контрольно-комплектувальні автомати.

У залежності від кількості контрольованих параметрів прилади можуть бути одномірними і багатомірними. Кількість контрольованих параметрів, а також кількість точок, що підлягають вимірюванню, визначаються характером роботи деталі у з'єднанні. Пошук оптимального числа точок вимірювання пов'язаний з відхиленнями від геометричної форми робочої поверхні деталі і функціональними умовами її роботи. Тут необхідно точно встановити, що саме приймати за розмір деталі.

За ступенем автоматизації засоби вимірювання поділяють на ручні, механізовані, напівавтоматичні і автоматичні.

У ручних засобах оператор вручну встановлює деталь на вимірювальну позицію, візуально виконує відлік і вкладає деталь у заданий відсік чи пристрій.

У механізованих приладах і пристроях вимірювальна інформація, як правило, обробляється автоматично, поступає на реєструючі пристрої, а деталь встановлюється вручну.

У автоматичних засобах всі операції – транспортування, вимірювання, оброблення та реєстрації вимірювальної інформації повністю автоматизовані, оператор проводить тільки налагодження та нагляд за роботою засобу.

У напівавтоматичних пристроях, як правило, не автоматизована операція завантаження деталей.

У гнучких виробничих системах перевага надається цифровим багатомірним, програмним, швидкопереналагоджуваним приладам та комплексам.

Дуже важливе значення має циклове узгодження роботи засобу вимірювання з роботою основного технологічного обладнання.

Основна сфера застосування автоматизованих приладів для контролю розмірів деталей – машинобудівна, приладобудівна та суміжні з ними галузі промисловості.

Технологічне обладнання, у комплексі з яким використання цих приладів є найбільш ефективним – металорізальні верстати кінцевого оброблення – шліфувальні, хонінгувальні, доводочні тощо.

Широке використання отримали автоматизовані вимірювальні комплекси у складальних цехах та дільницях для селективного підбору комплектуючих деталей.

Застосування автоматизованих засобів вимірювання є найбільш ефективним в умовах серійного і масового виробництва.

1.4 Характеристика методів та засобів автоматизованого контролю

Технологічний або активний контроль призначається для забезпечення точності тих або інших параметрів деталей, вузлів або виробів у самому

технологічному процесі. У широкому розумінні цього поняття активний контроль є технічною політикою, направленою на використання засобів вимірювання для підвищення технологічної точності.

Розрізняють прямий і непрямий (опосередкований) методи вимірювання.

За прямого методу контролюється безпосередньо розмір деталі, яка виготовляється або вже виготовлена, шляхом включення його у розмірне коло вимірювального приладу. База вимірювання у цьому випадку співпадає з поверхнею деталі, яка контролюється. До засобів прямого контролю належать, наприклад, прилади для діаметральних вимірювань (двох- і трьохконтактні).

За опосередкованого методу контролюється не розмір деталі, яка виготовляється (або виготовленої), а положення поверхні вимірюваної деталі або положення ріжучої крайки інструмента і виконавчих органів верстата по відношенню до бази установки засобу вимірювання. За опосередкованого методу у вимірювальне коло, крім розмірів деталі, включаються розмірні параметри самого верстата.

За виконуваними функціями засоби технологічного контролю можуть бути поділені на чотири групи:

1. Пристрої, які контролюють деталі безпосередньо у процесі їх оброблення.
2. Підналагоджувальники.
3. Блокуючі пристрої (вимірювальні «заслони»).
4. Пристрої, що здійснюють контроль до процесу оброблення.

До пристроїв першої групи належать прилади, що контролюють розміри деталі, положення ріжучої крайки інструменту, або положення виконавчих органів верстату безпосередньо у процесі оброблення деталей і через кола зворотнього зв'язку подають команду на припинення оброблення в момент досягнення заданих значень параметрів контролю. Ці пристрої управляють циклом роботи металорізальних верстатів.

До підналагоджувальників відносяться вимірювальні прилади, які через кола зворотнього зв'язку змінюють налагодження металорізального верстата або вимірювального пристрою, що управляє роботою верстата, коли значення контрольованого параметра виходить за допустимі межі або відхиляється від заданого значення.

Блокування є найпростішою формою активного контролю. До блокуючих належать пристрої, що розбраковують заготовки або контролюють деталі після оброблення з видачею команди на припинення процесу оброблення.

Пристрої, які контролюють деталі до процесу оброблення, можна розділити на дві групи: пристрої, які контролюють параметри заготовок, і пристрої, які фіксують момент дотику різального інструменту до заготовки.

Автоматизовані вимірювальні пристрої післяопераційного контролю можна розділити на три групи: сигналізуючі вимірювальні пристрої, напіваавтомати та автомати.

У сигналізуючих пристроях виробляється сигнал (світловий або звуковий), який подається у той момент, коли контрольований розмір

відповідає деяким наперед заданим умовам.

Контрольним напівавтоматом називають пристрій, у якому контрольна операція, а також дія виконавчого органу автоматизовані, але установка деталі на вимірювальну позицію здійснюється вручну.

У контрольному автоматі всі елементи процесу вимірювання автоматизовані, починаючи від завантаження деталі і закінчуючи роботою виконавчого органу. Контрольні автомати можуть виконувати розбраковування або розсорткування деталей на групи.

1.5 Структурна побудова АВК

За однієї і тієї ж елементною базою, і, власне, одним і тим же призначенням – вимірювання лінійних розмірів, структура вимірювальних комплексів для операційного і післяопераційного контролю має суттєві відмінності.

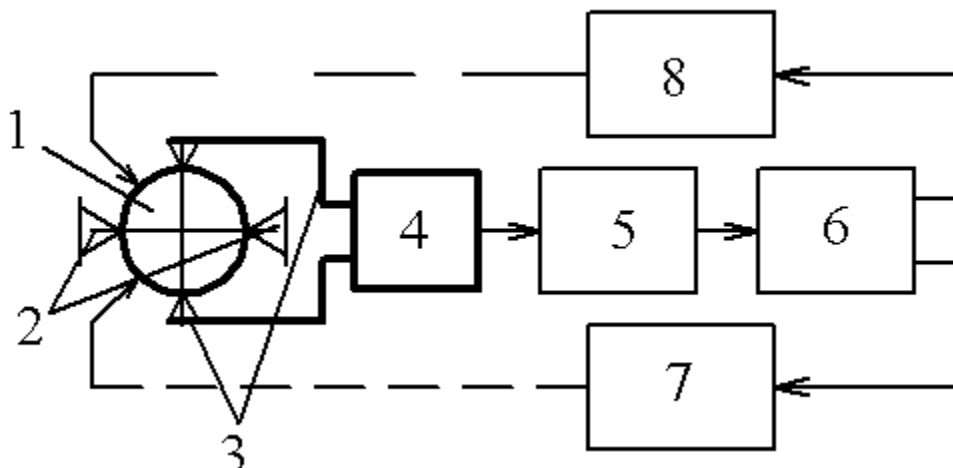


Рисунок 1.2 – Структурна схема автоматичного контролю розмірів:

- 1 – об'єкт вимірювання; 2 – елементи позиційного базування;
- 3 – вимірювальний пристрій (оснастка); 4 – вимірювальний перетворювач;
- 5 – підсилювач; 6 – управляючий прилад (регулятор); 7, 8 – виконавчі пристрої: механізм подачі верстата (7) або сортувальний пристрій контрольного автомата (8)

Головна відмінність полягає у тому, що вимірювальні комплекси для післяопераційного контролю є механічними пристроями з автономною системою управління, а системи операційного контролю будуються на базі технологічного обладнання.

Структура, власне, самої автоматичної вимірювальної системи, як для технологічного, так і для післяопераційного контролю однакова (рис. 1.2).

За лінійних вимірювань об'єкт контролю обов'язково повинен бути встановлений на елементах базування. У операційних системах такими елементами є базуючі елементи металооброблювального верстата.

Для проведення вимірювань необхідна вимірювальна оснастка. Це, як

правило, механічний пристрій для передачі лінійного переміщення від об'єкта вимірювання до первинного перетворювача – сенсора (або давача). Вимірювальна оснастка для кожного конкретного призначення є індивідуальною, універсальність може проявлятися у можливості деякого розмірного переналагодження у незначних межах.

Призначення датчика – з максимальною точністю передати зміни лінійного розміру деталі у вигляді інформаційного сигналу. У сучасних системах найбільш поширені перетворювачі з електричним вихідним сигналом. Датчик з вимірювальною оснасткою є приладами точної механіки, від яких найбільше залежить точність та надійність роботи всього вимірювального комплексу.

Управляючий прилад є багатофункціональним і служить:

- а) для підсилення і проміжного перетворення сигналів від вимірювального перетворювача;
- б) для візуального відтворення поточного значення розміру (припуску) деталі;
- в) для формування дискретних вихідних команд;
- г) для корекції вихідних команд та виконання деяких допоміжних функцій, наприклад, управління пристроями відводу вимірювальної оснастки.

1.6 Принципи забезпечення точності лінійних вимірювань

Основною характеристикою засобу вимірювання є його точність. Для забезпечення точності та нормування характеристик точності засобу вимірювання необхідно дотримуватись наступних принципів:

1) Принцип інверсії.

Полягає у тому, що будь-яка деталь від моменту її виготовлення до моменту експлуатації проходить ряд перетворень і різних станів (інверсій). Спочатку деталь є об'єктом оброблення, потім – об'єктом вимірювання, далі стає елементом механізму. Отже, параметри деталі будуть відповідати необхідним значенням тільки у тому випадку, коли всі фази її проходження будуть досліджуватись і враховуватись сумісно.

2) Принцип Тейлора.

Надійне визначення відповідності параметрів деталі можливе лише у випадку, якщо визначається значення максимальної і мінімальної границі даного параметра.

Отже, будь-який параметр повинен контролюватись як мінімум двічі, або за двома схемами контролю, наприклад, з допомогою прохідного і непрохідного калібрів.

3) Принцип Аббе.

Мінімальну похибку вимірювання можна отримати лише тоді, коли геометричний елемент, який вимірюється, і елемент порівняння знаходяться на одній лінії – лінії вимірювання (рис. 1.3).

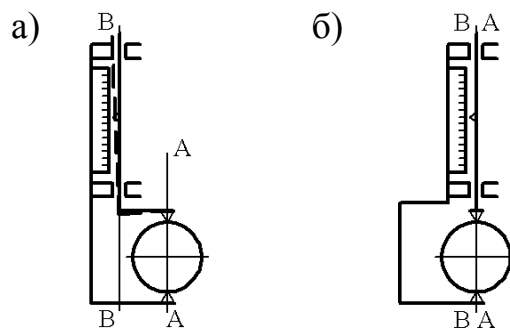


Рисунок 1.3 – Схеми вимірювання: а – принцип Аббе не дотримується; б – з дотриманням принципу Аббе. А-А – лінія контрольованого розміру; В-В – лінія вимірювання

1.7 Критерії вибору автоматизованих засобів вимірювання

До сучасних автоматичних засобів вимірювання висуваються високі метрологічні і експлуатаційні вимоги.

Основні вимоги до автоматизованих засобів контролю розмірів:

1. Засоби вимірювання повинні забезпечувати високу продуктивність вимірювань, щоб не знижувати продуктивність технологічного оброблення деталей. У даний час використовуються засоби, що забезпечують контроль до 20000 – 40000 деталей на годину.

2. Засоби вимірювання повинні мати оптимальну точність. Відомі засоби, у яких відповідно з вимогами виробництва, похибка вимірювання не повинна перевищувати 0,05 – 0,1 мкм. У то й же час, підвищення точності повинне бути оправдане економічними міркуваннями, так як з підвищенням точності значно зростають вартість самих засобів і експлуатаційні затрати.

3. Місце установки засобу вимірювання і вибір параметрів контролю обумовлюється вимогами виробництва і тісно пов'язано з технологічним процесом. У всіх випадках необхідно добиватися зменшення об'ємів вимірювань. Пріоритетно необхідно вимірювати або контролювати ті параметри, які є нестійкими, виявляють визначальний вплив на функціонування об'єкта вимірювання, за результатами вимірювання яких, можна впливати на якість деталей, які виготовляються.

4. Необхідно передбачити поєднання засобів вимірювання з комп'ютерною технікою, а також можливість застосування в гнучких автоматизованих виробництвах. Тому вони повинні мати як аналоговий, так і цифровий вихід, забезпечувати оперативне перенастроювання діапазону вимірювання, дискретності відліку і алгоритму роботи, оснащуватися регуляторами і змінними пристроями для швидкого перенастроювання при переході на інший тип деталі.

5. Кожна технічна характеристика засобу вимірювання повинна мати визначену фізичну властивість, що дозволяє виконувати перевірку з мінімальними затратами. Завищення характеристик веде до непродуктивних затрат, а зниження призводить до збільшення фактичного браку продукції.

Характеристики повинні бути стабільними у часі і мінімально змінюватися від дії впливаючих і збурюючих величин.

Конструктивне виконання АВК повинне забезпечувати: простоту і зручність налагодження, регулювання і обслуговування; доступність до регулювальних і змінних елементів; зручність установки (завантаження) деталей, які вимірюються; гарантувати високу надійність у роботі.

Під час вибору засобу вимірювання керуються наступним: забезпечуючи задану точність вимірювання і найбільшу продуктивність, автоматизовані вимірювальні комплекси повинні бути простими в обслуговуванні, формувати інформацію для управління якістю продукції і забезпечувати економічну доцільність використання. Повинне бути обґрунтовано визначене місце засобу вимірювання у технологічному процесі, об'єм і частота вимірювань, а також вирішене питання про співвідношення кількості засобів вимірювання і обслуговуючого персоналу.

Контрольні питання

1. Що являє собою метод післяопераційного (пасивного) контролю?
2. Що являє собою метод технологічного (активного) контролю?
3. У чому полягає різниця між поняттями «активний контроль» і «автоматичне регулювання»?
4. Яка основна відмінність системи управління від системи автоматичного регулювання?
5. Які засоби контролю відносяться до засобів вимірювання, що здійснюють контроль розмірів поза зоною оброблення?
6. Як поділяються засоби вимірювання за ступенем автоматизації?
7. На які групи поділяються засоби технологічного контролю за виконуваними функціями?
8. Які відмінності у структурі вимірювальних комплексів для операційного і післяопераційного контролю?
9. Які основні вимоги висуваються до автоматизованих засобів контролю розмірів.

ТЕМА 2 ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ

План

- 2.1. Класифікація та призначення елементів систем.
- 2.2. Стандартизація та уніфікація елементів систем.
- 2.3. Вимірювально-перетворюючі елементи.
- 2.4. Електроконтактні вимірювальні перетворювачі.
- 2.5. Індуктивні вимірювальні перетворювачі.
- 2.6. Пневматичні вимірювальні перетворювачі.

2.1 Класифікація та призначення елементів систем

Автоматизовані вимірювальні комплекси (АВК) складаються з елементів, що взаємодіють між собою і виконують визначені функції. Будь-якому елементу автоматизованої системи чи комплексу притаманні певні класифікаційні признаки, які, як правило, поділяють на основні і допоміжні. Групування елементів за класифікаційними признаками дозволяє досліджувати не індивідуально кожен конструктивний елемент технічного пристрою, а цілу групу елементів.

Зведена таблиця класифікації елементів приведена на рисунку 2.1.

Для автоматизованих вимірювальних комплексів найбільш зручною є класифікація елементів за їх функціональним призначенням і передатною характеристикою. За функціональним призначенням всі елементи АВК можна розділити на вимірювально-перетворюючі, підсилювально-перетворюючі, порівнюючі, задаючі, виконавчі, коректуючі і допоміжні. До допоміжних відносяться комутуючі, індикаторні, транспортуючі і т. п. елементи.

Передатні характеристики відтворюють динамічні властивості елементів. У цьому випадку визначальними є не конструктивні чи функціональні признаки, а його математична модель.

За видом передатної характеристики елементи поділяють на лінійні, нелінійні та лінеаризовані.

За характером зміни вихідної величини можна виділити два класи елементів – аналогові, що мають неперервну у часі передатну характеристику, і дискретні, які у свою чергу розділяють на імпульсні, цифрові та релейні.

Важливою властивістю елемента є його здатність розрізняти зміну полярності або фази вхідного сигналу. За цією властивістю елементи поділяють на реверсивні або двохтактні і нереверсивні – одноктактні. У реверсивних полярність (знак) або фаза вихідного сигналу змінюються за зміни полярності вхідного сигналу, у нереверсивних – такої зміни не відбувається.

Визначальним фактором, що характеризує роботу будь-якого елемента, є його принцип дії, в основі якого лежить фізична суть використовуваних перетворень. За фізичним принципом дії розрізняють: електричні, теплові,

магнітні, акустичні, механічні, оптичні і т.д. У деяких випадках в функціональному елементі проходить ряд послідовних фізичних перетворень. Класифікується такий елемент за основним, найбільш характерним фактором.

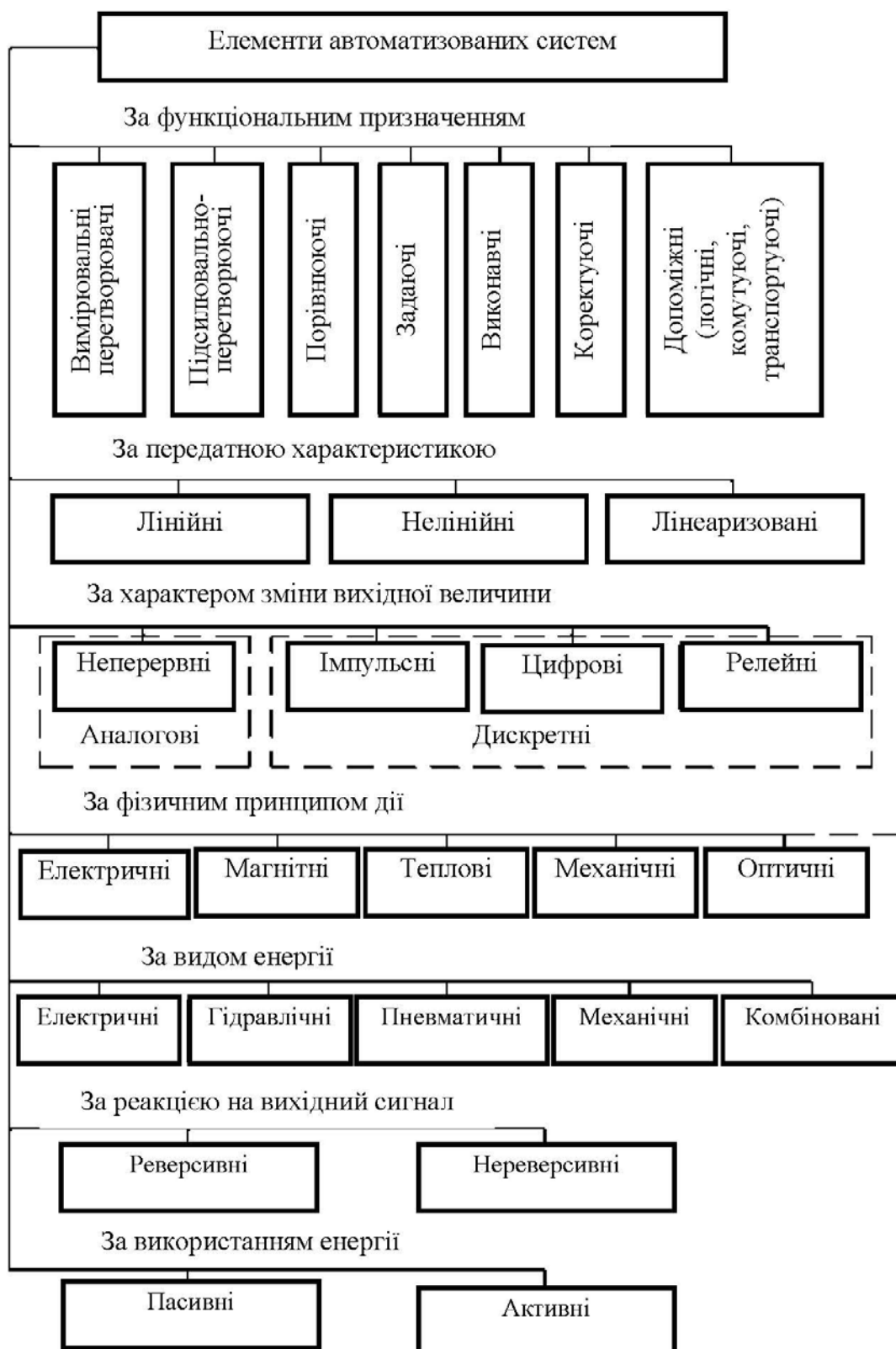


Рисунок 2.1 – Зведена таблиця класифікації елементів систем

Задача кожного елемента автоматизованого вимірювального комплексу у загальному випадку заключається у кількісному і якісному перетворенні інформації, отриманої від попереднього елемента, і передачі її у формі, зручній для використання, наступному елементу. Таким чином, будь-який елемент можна розглядати, у першу чергу, як перетворювач енергії, на вхід якого поступає деяка величина g , а з виходу знімається величина x . У одних елементів енергія вихідного сигналу x отримується повністю з енергії вхідного сигналу g , для інших – необхідне додаткове джерело енергії N (рис. 2.2).

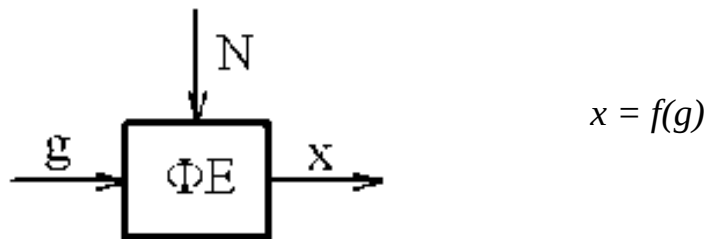


Рисунок 2.2 – Функціональний елемент і його передатна характеристика

У цьому випадку величина g тільки управляє передачею енергії N додаткового джерела на вихід елемента.

Отже, за наявності додаткового джерела енергії всі елементи поділяють на дві групи: активні і пасивні.

За видом енергії, яка використовується, розрізняють: електричні, гідравлічні, пневматичні і комбіновані елементи.

2.2 Стандартизація та уніфікація елементів систем

Декомпозиція автоматизованого вимірювального комплексу на окремі елементи створює можливість для розроблення уніфікованої системи елементів автоматики. Уніфікація заключається у розробленні універсальних типів елементів, придатних для застосування у автоматизованих системах різного технічного призначення. Уніфіковані елементи повинні легко поєднуватись між собою, забезпечувати оперативну і економну компоновку технічних пристроїв на основі агрегатно-модульного методу побудови.

В основу цього методу покладено не фізична природа дії на вході елемента, а інформація, що передається цією дією. Такий підхід дозволяє створювати автоматизовані вимірювальні комплекси різного призначення на основі використання стандартних елементів, вузлів і блоків.

Одним з основних системотехнічних принципів, покладених в основу побудови державної системи приладів (ДСП), є принцип сумісності окремих елементів: інформаційної, енергетичної, метрологічної, конструктивної та експлуатаційної.

Уніфікації підлягають як окремі конструктивні елементи, так і інформаційні сигнали та параметри джерел енергії.

2.3 Вимірювально-перетворюючі елементи

Вимірювальний перетворювач – це основний функціональний елемент вимірювального кола, від якого найбільше залежить точність автоматизованого вимірювального комплексу.

Основною класифікаційною ознакою для вимірювальних перетворювачів є їх принцип дії (принцип фізичних перетворень).

Для контролю лінійних розмірів деталей найчастіше застосовуються перетворювачі, у яких використовується резистивний, індуктивний, пневматичний, фотоелектричний, оптичний принцип дії, або їх комбінація.

У деяких моделях вимірювальних перетворювачів використовуються перетворювачі, дія яких ґрунтується на ємнісному, механотронному, радіоактивному, ультразвуковому, гальваномagnetному, та деяких інших методах, але з різних причин, широкого застосування вони не отримали.

За видом вихідного сигналу перетворювачі класифікують на аналогові і дискретні, а за типом чутливого елемента – на контактні і безконтактні. У контактних перетворювачах чутливий елемент є твердим тілом, виконаним у вигляді наконечника.

Для підвищення зносостійкості наконечник оснащують алмазом, корундом, або твердим сплавом.

2.4 Електроконтактні вимірювальні перетворювачі

Принцип дії електроконтактних вимірювальних перетворювачів оснований на стрибкоподібній зміні перехідного електричного опору механічних контактів під час їх замикання та розмикання.

У структурну схему перетворювача (рис. 2.3) можуть входити: вимірювальний шток 7, який безпосередньо контактує з деталлю 8, розміри якої контролюються, передатний механізм 6, що перетворює зміну розміру контрольованої деталі 8 у переміщення рухомих контактів 5, нерухомі контакти 3, блок електричного живлення 2, блок управління 1 (наприклад, контролер), вихідний блок 4 (електронне реле).

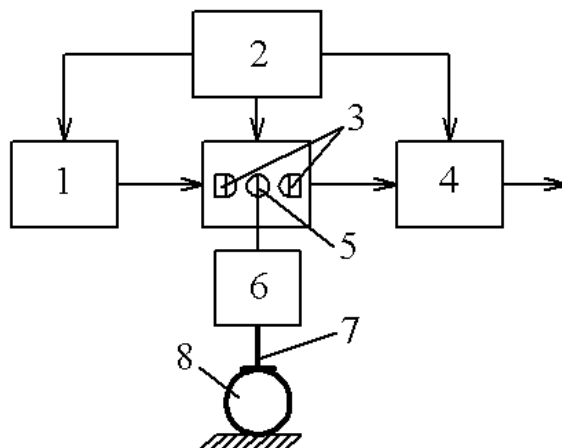


Рисунок 2.3 – Структурна схема електроконтактного перетворювача

Важільні двохграничні перетворювачі мають уніфіковану конструкцію (рис. 2.4). Зміна розміру контрольованої деталі 1 викликає переміщення штока 2.

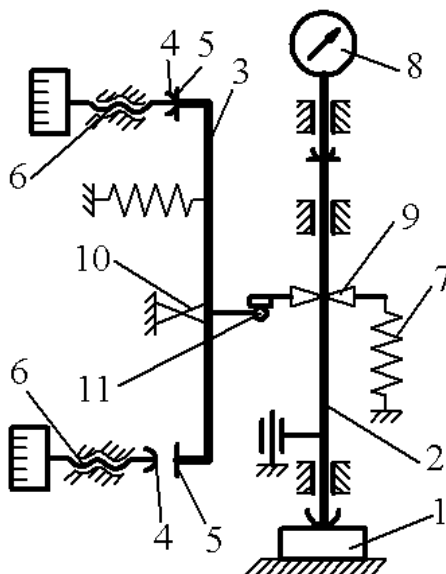


Рисунок 2.4 – Схема електроконтактного вимірювального перетворювача:
1 – деталь, що контролюється; 2 – шток; 3 – коромисло; 4 – нерухомі контакти; 5 – рухомі контакти; 6 – регульовальні мікрогвинти; 7 – пружина для створення вимірювального зусилля; 8 – індикаторна головка; 9 – хомут; 10 – хрестовий плоскопружинний шарнір; 11 – механічна передаюча пара

Від переміщення штока 2, на пружинному хрестовому шарнірі 10 провертається коромисло 3 з запресованими у нього рухомими контактами 5. Передача здійснюється через механічну контактну пару 11 – п'ятку, закріплену на хомуті 9 і корундовий штифт, закріплений на коромислі 3. Вимірювальне зусилля забезпечується пружиною 7. Під час замикання рухомих контактів 5 з нерухомими 4, які вмонтовано в оцифровані барабанчики з мікрометричною різьбою 6, що можуть регулювати момент спрацювання, видається команда.

Основні виробники електроконтактних вимірювальних перетворювачів: КРИН, «К.Цейс (K. Zeiss)», «Карл Мар (Carl Mahr)» (Німеччина) «Теза» (Швейцарія).

До електроконтактних перетворювачів за принципом роботи і метрологічними характеристиками відносяться індикатори контакту, які використовуються на верстатах з числовим програмним керуванням і у координатно-вимірювальних машинах. Індикатори контакту іноді називають «головками дотику» або «індикаторами нульового положення». Індикатори контакту видають команду в момент дотику чутливого елемента до вимірювальної поверхні по будь-якій з координат.

Індикатори контакту випускають фірми «Ренішоу» (Англія), «Боллуфф» (Balluff, Німеччина), «Марпосс» (Marposs, Італія).

2.5 Індуктивні вимірювальні перетворювачі

У індуктивних приладах використовується властивість електричної котушки змінювати свій реактивний опір за зміни параметрів, які визначають величину її індуктивності L . Принцип дії індуктивних перетворювачів полягає у перетворенні зміни розміру в переміщення якоря, відносно статора, що приводить до перерозподілу магнітних полів.

У структурну схему перетворювача (рис. 2.5) може входити: якір 2, виконаний з феромагнітного матеріалу; передатний механізм 3, зв'язаний з вимірювальним штоком 4; статор 6, який включає котушки індуктивності 5; високочастотний генератор 1; вимірювальна схема 8 і блок живлення 7.

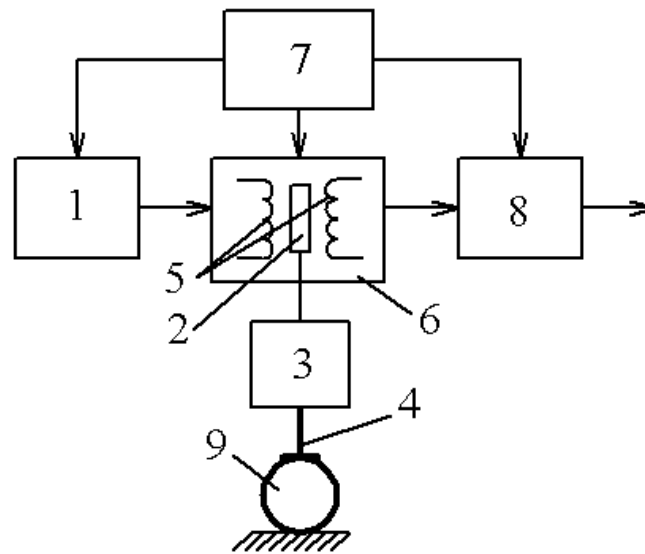


Рисунок 2.5 – Структурна схема індуктивного перетворювача

Спрощена електрична схема індуктивного перетворювача включає магнітопровід 1, на якому розміщена обмотка 2, і рухомий якір 3, встановлений з деяким проміжком δ до магнітопроводу (рис. 2.6).

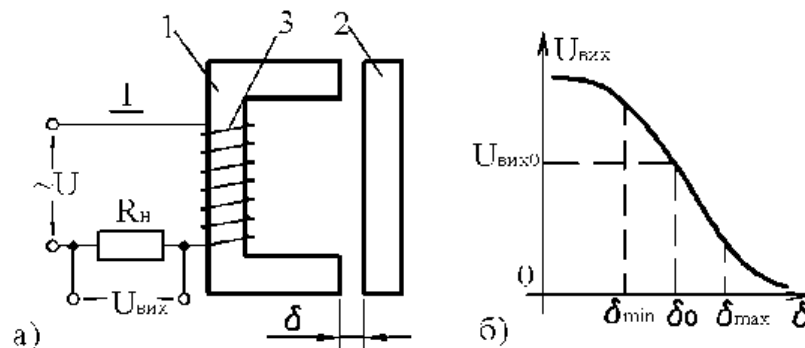


Рисунок 2.6 – Електрична схема індуктивного перетворювача (а) і його статична характеристика (б)

Струм, що протікає у обмотці 2:

$$I = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{(R_H + r_d)^2 + (\omega L)^2}}, \quad (2.1)$$

де r_d – активний опір обмотки;

ω – частота напруги живлення;

L – індуктивність обмотки перетворювача.

Так як активний опір $R = R_H + r_d$ є постійною величиною, то зміна струму I може проходити тільки за рахунок зміни індуктивної складової опору $x_L = \omega L$, яка, у свою чергу, залежить від величини повітряного проміжку δ .

Таким чином, кожному значенню проміжку δ відповідає певне визначене значення струму I . Це створює спад напруги на резисторі R_H , що становить собою вихідний сигнал перетворювача: $U_{\text{вих}} = IR_H$.

Індуктивність котушки перетворювача

$$L = \frac{4\pi w^2}{\frac{\delta_1}{\mu_0 s} + \frac{\delta_1}{\mu_1 s_1}}, \quad (2.2)$$

де w – число витків котушки;

δ_0, s_0 – довжина і площа повітряного проміжку між якорем і нерухомою частиною магнітопроводу;

δ_1, s_1 – довжина магнітних ліній і площа перерізу магнітопроводу;

μ_0, μ_1 – магнітна проникність повітря і матеріалу магнітопроводу.

Зміну індуктивності L можна здійснювати шляхом зміни $\delta_0, s_0, \delta_1, s_1$ або μ_1 . На практиці, в індуктивних перетворювачах для лінійних вимірювань, зміна індуктивності здійснюється шляхом зміни довжини δ_0 , або площі s_0 повітряного проміжку.

З характеристики, показаної на рисунку 2.7, а, можна зробити висновок, що характеристика перетворювача зі змінним проміжком нелінійна, але дозволяє отримати високочутливу вимірювальну систему. Для підвищення чутливості $\frac{dL}{d\delta}$ величину повітряного проміжку необхідно зменшувати.

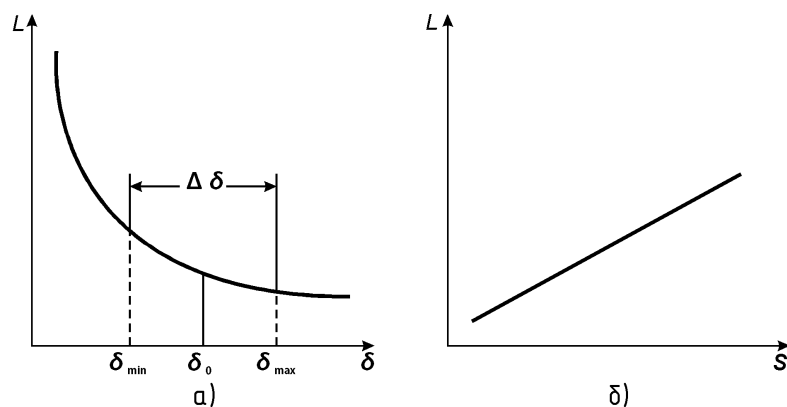


Рисунок 2.7 – Характеристики індуктивних перетворювачів:
а) – зі змінним зазором $L=f(\delta)$; б) – зі змінною площею $L=f(s)$

Щоб із заданою точністю можна було вважати чутливість перетворювача величиною постійною, необхідно робочу ділянку $\Delta\delta = \delta_{\max} - \delta_{\min}$ обмежити допустимими проміжками $\delta_{\max}$ та $\delta_{\min}$, причому, мінімальна величина повітряного проміжку повинна бути тим більшою, чим більший діапазон зміни проміжку у процесі вимірювання.

Чим менша величина $\frac{\Delta\delta}{\delta_0}$, тим менша величина нелінійності характеристики перетворювача. Для того, щоб нелінійність перетворювача не перевищувала, наприклад, 10%, необхідно, щоб $\frac{\Delta\delta}{\delta_0} = 0,15 \div 0,2$.

Широке практичне застосування отримали індуктивні перетворювачі виконані за диференціальною схемою. Конструкції диференціальних перетворювачів для величини відношення $\frac{\Delta\delta}{\delta_0} = 0,15 \div 0,2$ дозволяють забезпечити величину нелінійності в межах 1%.

2.6 Пневматичні вимірювальні перетворювачі

У основу роботи покладено залежність між площею f прохідного перерізу отвору витоку та витратами стиснутого повітря. Площа каналу витоку змінюється за рахунок зміни проміжку перед каналом витоку.

Таким чином, $G = \varphi(P, f)$, де P – тиск повітря, під яким воно витікає через отвір площею поперечного перерізу f .

У приладах для контролю розмірів застосовують пневматичні схеми манометричного типу, які реагують на зміну тиску $P = f(s)$. Для визначення витрат повітря через пневматичний перетворювач (рис. 2.8) з площею прохідного перерізу f_2 шляхом зміни тиску, встановлюють додатковий постійний дросель 1 (вхідне сопло) з площею каналу f_1 .

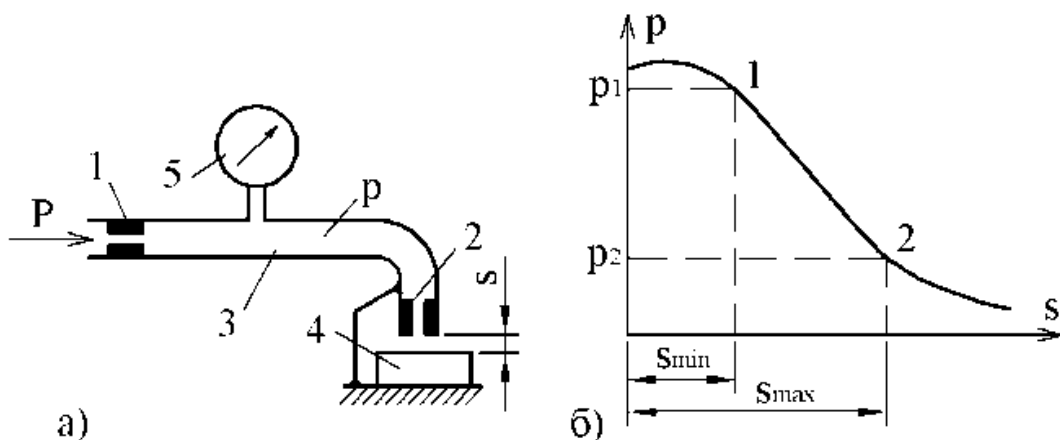


Рисунок 2.8 – Схема пневматичного вимірювального перетворювача (а) і його статична характеристика (б): 1 – вхідне сопло; 2 – вимірювальне сопло; 3 – вимірювальна камера; 4 – прилад контролю тиску (манометр);

5 –деталь, яка контролюється (заслінка); s – вимірюваний проміжок

Стиснуте повітря під постійним робочим тиском P через вхідне сопло 1 поступає у вимірювальну камеру 3 і далі, через вимірювальне сопло 2, витікає в атмосферу. У залежності від величини проміжку s у камері 3 встановлюється тиск p , який за постійного робочого тиску P і площі вхідного сопла f_1 , є мірою витрат повітря через перетворювач.

Для вимірювання тиску використовується пружинний манометр 4, шкала якого проградуйована у мікронах. Цей манометр, за необхідності, оснащується пристроєм для видачі сигналів – команд.

Аналітичне визначення значення залежності $p=f(s)$ досить складне, тому, у практичному аналізі пневматичних вимірювальних схем, ця залежність визначається наближено, а потім, експериментально, уточняється результат та проводиться його коректування шляхом зміни величини площі каналів f_1 і f_2 .

Використовуючи рівняння нерозривності потоку $f_1\rho_1\omega_1 = f_2\rho_2\omega_2$, де $\rho_1\omega_1$ і $\rho_2\omega_2$ – густина і швидкість потоку, та, приймаючи припущення, що $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, отримаємо:

$$\omega_1 = \mu_1 \sqrt{\frac{2(P-p)}{\rho}}, \quad (2.3)$$

$$\omega_2 = \mu_2 \sqrt{\frac{2p}{\rho}}, \quad (2.4)$$

де μ_1 і μ_2 – коефіцієнти витоку повітря через відповідні сопла.

Приблизна залежність вимірювального тиску від проміжка:

$$p = \frac{P}{1 + \left(\frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{f_2}{f_1} \right)^2}, \quad (2.5)$$

де $f_2 = \pi d_2 s$ (d_2 – діаметр вимірювального сопла).

Графічно ця залежність показана на рисунку 2.8, б. Крутизна характеристики кривої (тангенс кута нахилу) визначає передатне відношення пневматичної схеми $K_s = \frac{dp}{ds}$.

Для роботи пневматичних перетворювачів використовується прямолінійна ділянка, обмежена точками 1–2, на якій передатне відношення максимальне і, практично, постійне. Відрізок $\Delta s = s_{\max} - s_{\min}$ визначає границі вимірювання пневматичної системи.

Контрольні питання

1. Наведіть класифікацію та призначення елементів систем автоматизованих вимірювальних комплексів.

2. Які типи перетворювачів використовуються для контролю лінійних розмірів?
3. Поясніть принцип дії і призначення електроконтактного вимірювального перетворювача.
4. Поясніть принцип дії і призначення індуктивного вимірювального перетворювача.
5. Які є види характеристик індуктивних вимірювальних перетворювачів?
6. Яку залежність покладено в основу роботи пневматичних вимірювальних перетворювачів?
7. Що являють собою пневматичні схеми вимірювальних перетворювачів манометричного типу?

ТЕМА 3 ОПЕРАЦІЙНІ СИСТЕМИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

План

- 3.1 Підсилювачі сигналів.
- 3.2 Використання операційних підсилювачів.
- 3.3 Виконавчі пристрої.
- 3.4 Дискретні елементи.
- 3.5 Приводні електричні двигуни.

3.1 Підсилювачі сигналів

Потужність сигналів від вимірювальних перетворювачів (датчиків), що застосовуються у автоматизованих вимірювальних комплексах, у переважній більшості випадків, є недостатньою для приведення в дію виконавчих пристроїв. У зв'язку з цим виникає необхідність підсилення сигналів, у результаті якого, потужність сигналу на виході підсилювального елемента стає більшою від потужності вхідного сигналу.

Підсилювально-перетворюючі елементи поділяють на два класи: параметричні та генераторні.

У підсилювально-перетворюючих елементах будь-якого класу проходить не збільшення енергії, а управління потоком енергії допоміжного джерела великої потужності за допомогою сигналів малої потужності (рис. 3.1).

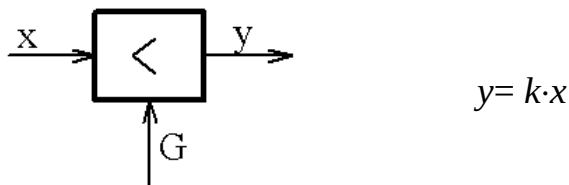


Рисунок 3.1 – Умовне позначення і передатна функція підсилювального елемента

Тому, основна вимога до підсилювачів – забезпечення на виході найбільш точного відтворення всіх змін вхідного сигналу з відповідним його підсиленням.

Основні характеристики підсилювачів:

а) коефіцієнт підсилення:

$$k = \frac{y}{x};$$

б) статична і динамічна характеристики – лінійність передачі у робочому діапазоні;

в) вхідний і вихідний опір;

г) рівень шумів;

д) коефіцієнт корисної дії.

Для підсилення електричних сигналів найбільше поширення отримали магнітні, електромеханічні (релейні) і електронні підсилювачі.

Магнітні та електромеханічні підсилювачі застосовуються для підсилення сигналів великої потужності, тому в АВК мають обмежене застосування. У електронних підсилювачах, у якості підсилювального елементу використовують напівпровідникові прилади – транзистори, тиристори, інтегральні мікросхеми.

Один з варіантів застосування транзистора у підсилювачі показано на рисунку 3.2.

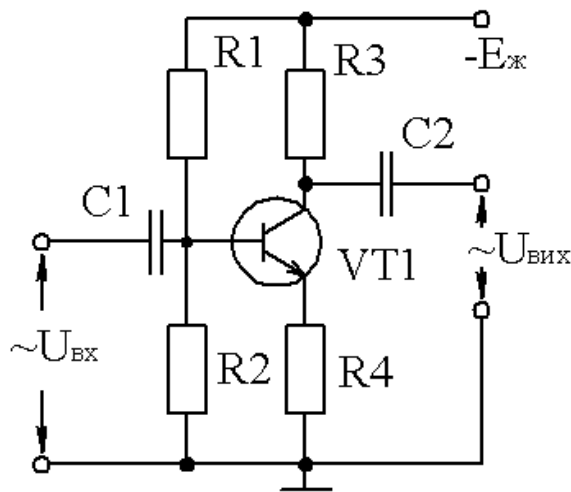


Рисунок 3.2 – Підсилювальний каскад змінного струму на транзисторі

Призначення елементів схеми:

VT1 – транзистор (підсилювальний елемент);

R1, R2 – подільник напруги живлення – для подачі напруги зміщення на базі транзистора, – встановлення робочої точки вольт-амперної характеристики транзистора;

R3 – колекторне навантаження транзистора – для зняття вихідної напруги;

R4 – служить для автоматичної компенсації зміщення робочої точки за зміни температури;

C1, C2 – роздільні конденсатори – для відсікання постійної складової вхідного і вихідного сигналів відповідно.

3.2 Використання операційних підсилювачів

Операційним називається підсилювач постійного струму, оховачений зовнішнім від’ємним зворотнім зв’язком. У автоматизованих вимірювальних комплексах використовуються операційні підсилювачі у інтегральному виконанні, що мають власний коефіцієнт підсилення $k_o = 10^2 - 10^3$. Такий підсилювач у сукупності з зовнішніми колами зворотного зв’язку може

виконувати різні операції з вхідними сигналами. Ця властивість і визначила його назву.

Типові схеми використання операційних підсилювачів, виконаних інтегральними мікросхемами, показано на рисунку 3.3.

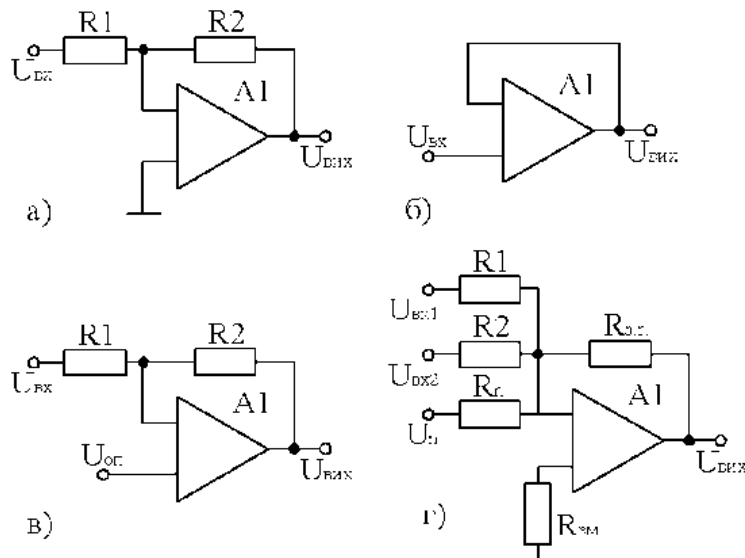


Рисунок 3.3 – Типові схеми використання операційних підсилювачів

На схемі показано:

- а) інвертуючий підсилювач;
- б) повторювач напруги ($R_{вх} \gg R_{вих}$);
- в) компаратор напруги (порівнюючий підсилювач);
- г) підсумовуючий підсилювач.

Таким чином, застосовуючи різні комбінації активних та реактивних опорів у колах, а також використовуючи їх складні з'єднання, можна здійснювати реалізацію різних передатних функцій і використовувати отримані схеми для побудови елементів різного призначення.

3.3 Виконавчі пристрої

Виконавчі пристрої призначені для підсилення і реалізації управляючого сигналу з метою зміни стану регульованого параметру об'єкта. Виконавчий елемент, як правило, є складовою частиною привода або сервомеханізму, що включає підсилювальні, перетворюючі, коректуючі елементи, елементи зворотного зв'язку.

У автоматизованих вимірювальних комплексах розмірного контролю виконавчі пристрої служать для реалізації отриманої вимірювальної інформації: у системах активного контролю – для приведення в дію відповідного органу верстата; у системах післяопераційного контролю – для відправлення проконтрольованої деталі у відповідну кваліфікаційну групу.

За видом використовуваної енергії виконавчі елементи систем можна поділити на електричні, гідравлічні, пневматичні і комбіновані.

З електричних широке застосування отримали електромагніти, електромуфти, двигуни постійного та змінного струму, крокові двигуни.

3.4 Дискретні елементи

Характерна особливість дискретних елементів – наявність двох або більше стійких незмінних станів. З електричних елементів до дискретних відносяться виконавчі пристрої, побудовані на базі електромагнітів. Розрізняють електромагніти клапанного та соленоїдного типів.

До основних характеристик електромагнітів відносяться:

- а) тягове зусилля (кГм) – сила, з якою притягується якір осердя;
- б) величина ходу якоря (мм) – максимальний хід якоря;
- в) габаритні розміри;
- г) вид струму (постійний, змінний) та напруга живлення.

Для живлення виконавчих електромагнітів використовуються спеціальні схеми живлення. Суть їх роботи заключається у тому, що в початковий момент на обмотку електромагніту подається імпульс підвищеної напруги, а для подальшого утримання якоря у притягнутому стані – напругу суттєво (в 1,5 – 2 рази) зменшують.

Це дає змогу, на основі врахування явища гістерезису, покращити тягову характеристику електромагніту – за невеликих габаритних розмірів збільшити тягове зусилля та покращити температурний режим роботи – зменшити нагрівання обмотки під час роботи.

3.5 Приводні електричні двигуни

3.5.1 Електродвигуни постійного струму

Електродвигуни постійного струму за способом збудження поділяються на двигуни з електромагнітним збудженням та двигуни із збудженням від постійних магнітів.

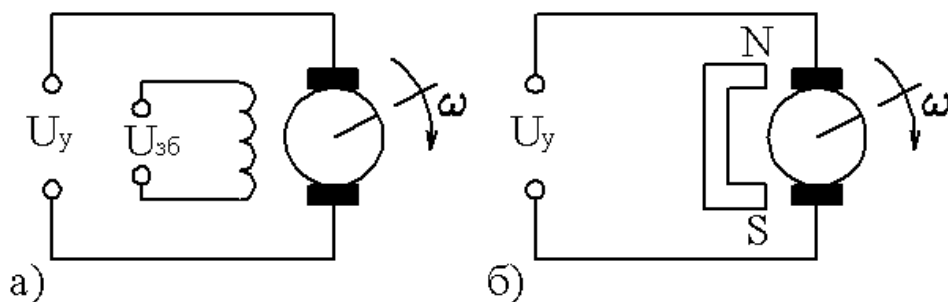


Рисунок 3.4 – Електрична схема двигуна постійного струму:
а) з електромагнітним збудженням; б) із збудженням від постійного магніту

Управління двигуном може здійснюватися як зі сторони якірної обмотки, так і обмотки збудження. Перевага віддається управлінню по обмотці збудження, так як для цього достатньо сигналу меншої потужності.

Окрему групу складають безколекторні двигуни постійного струму, які складаються, власне, з двигуна (Д), напівпровідникового комутатора (К) та давача кутового положення ротора (ДП) (рис. 3.5).

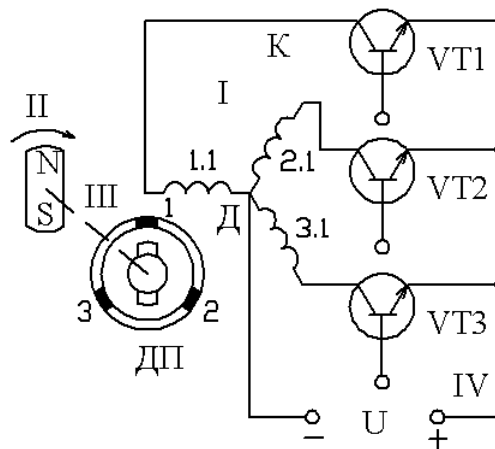


Рисунок 3.5 – Електрична схема безколекторного двигуна постійного струму: I – статор; II – ротор; III – давач кутового положення; IV – напівпровідниковий комутатор; 1.1 – 3.1 – обмотки статора; VT1 – VT3 – транзисторні ключі; 1 – 3 – чутливі елементи

На відміну від колекторного двигуна постійного струму, безконтактний двигун має обмотку управління на статорі I, а систему збудження на роторі II. Ротор виконується, як правило, з однією парою явно виражених полюсів постійного магніту. Обмотка складається з трьох секцій, з'єднаних зіркою. На осі ротора двигуна жорстко встановлений якір давача кутового положення III з трьома чутливими елементами 1, 2, 3, розташованими один відносно іншого під кутом 120 електричних градусів. Чутливі елементи управляють струмами баз транзисторів VT1-VT3 напівпровідникового комутатора IV.

3.5.2. Електродвигуни змінного струму

У автоматизованих вимірювальних комплексах широко використовуються двохфазні асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором. У цих двигунах на статорі розміщена обмотка управління і обмотка збудження, магнітні осі яких, зміщені у просторі на 90° (рис. 3.6).

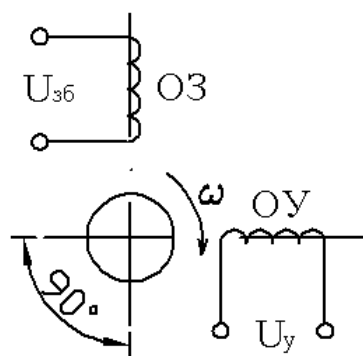


Рисунок 3.6 – Схема двохфазного асинхронного двигуна

Якщо подати на обмотки змінну напругу постійної амплітуди і зміщену по фазі на 90° , у магнітній системі двигуна виникає магнітне поле, яке обертається і захвачує за собою ротор. Ротор починає обертатись у ту ж сторону, що і магнітне поле, але з меншою кутовою швидкістю.

На практиці, живлення двохфазних двигунів здійснюється від однієї фази мережі, а зміщення фази на 90° у обмотці управління досягається включенням у коло обмотки управління конденсатора визначеної ємності (рис. 3.7).

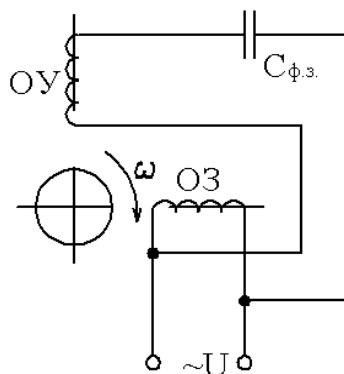


Рисунок 3.7 – Схема включення конденсатора фазового зсуву

Трьохфазні асинхронні двигуни змінного струму найчастіше використовуються як приводні. Обмотки двигунів можуть включатися за двома схемами: «зірка» і «трикутник». У схемі з'єднання «зіркою» до кожної з обмоток двигуна буде прикладена фазна напруга, у схемі з'єднанні «трикутник» – лінійна.

3.5.3 Крокові двигуни

Кроковим називається електродвигун з переривистим обертанням ротора під дією дискретного електричного сигналу, що подається на обмотки управління.

У якості крокових двигунів отримали широке розповсюдження багатофазні синхронні двигуни з активним (збудженим) і реактивним (незбудженим) ротором. Кроковий двигун відрізняється від звичайного синхронного, в основному, формою напруги, що підводиться до фазних (управляючих) обмоток. Крокові двигуни працюють у комплекті з електронним комутатором, який подає на обмотки управління прямокутні імпульси. Послідовність підключення обмоток і частота імпульсів відповідають заданій команді.

Кожному імпульсу управління відповідає поворот ротора на фіксований кут, що називається кроком двигуна, величина якого строго визначена його конструкцією і способом переключення обмоток. Швидкість обертання пропорційна частоті, а сумарний кут повороту – числу імпульсів управління.

Крокові двигуни з активним ротором типу ДШ мають крок $22,5^\circ$, створюють обертовий момент до 20 кГ/см з частотою сприйняття у навантаженому стані до 400 крок/с . Реактивні редукторні крокові двигуни

типу ШДР мають менший обертовий момент, але більшу швидкість з кроком, рівним 3° , і частоті сприйняття до 1000 крок/с.

Крім крокових двигунів обертового типу, у якості виконавчих елементів, знаходять застосування лінійні та площинні крокові двигуни, які суттєво спрощують кінематичну схему приводу.

Контрольні питання

1. На які класи поділяються підсилювально-перетворюючі елементи?
2. Назвіть основні характеристики підсилювачів?
3. Які підсилювачі отримали найбільше поширення для підсилення електричних сигналів?
4. Що являє собою операційний підсилювач? Для чого він використовується?
5. Для чого призначені виконавчі пристрої?
6. Які типи приводних електричних двигунів використовуються у автоматизованих вимірювальних комплексах?

ТЕМА 4 АВТОМАТИЧНІ ПІДНАЛАГОДЖУВАЛЬНІ СИСТЕМИ

План

- 4.1 Призначення та класифікація систем активного контролю.
- 4.2 Методи контролю і структурна побудова систем управління точністю оброблення.
- 4.3 Первинні перетворювачі і вимірювальна оснастка.
- 4.4 Особливості побудови кінематичних схем вимірювальних перетворювачів.
- 4.5 Пристрої формування команд управління.
- 4.6 Вимірювальні схеми пневматичних приладів.
- 4.7 Вимірювальні схеми індуктивних приладів.
- 4.8 Підсилювальні, виконавчі та допоміжні пристрої управляючих приладів.

4.1 Призначення та класифікація систем активного контролю

Автоматизовані системи активного контролю призначені для вимірювання геометричних розмірів деталей у процесі їх оброблення і управління технологічним обладнанням за результатами цих вимірювань.

Контроль розмірів може виконуватись як у зоні обробки – операційний контроль (рис. 4.1), так і поза зоною оброблення – виносний контроль (рис. 4.2).

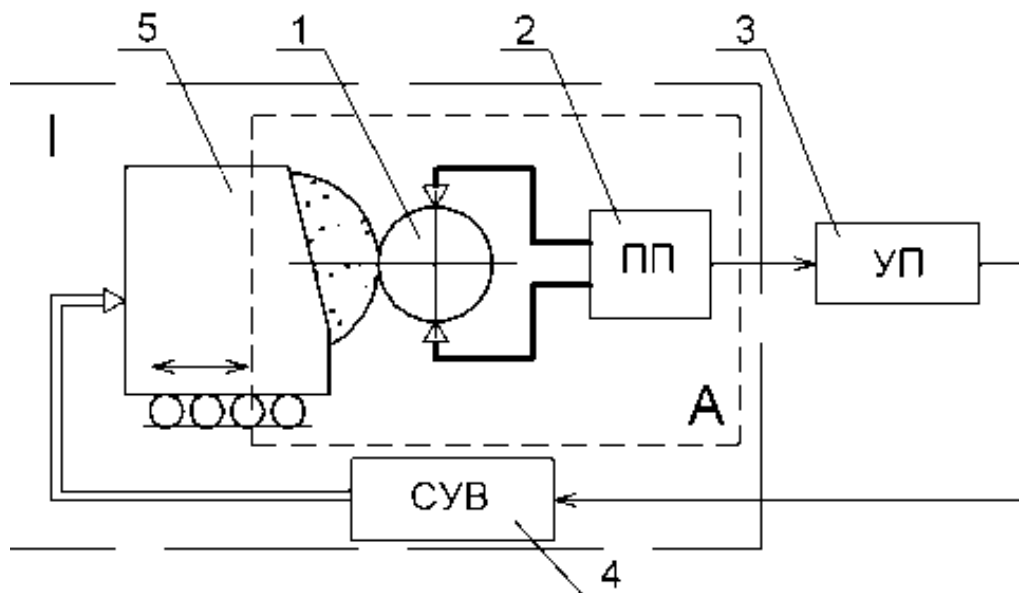


Рисунок 4.1 – Схема операційного контролю:

- I – верстат. 1– деталь, що оброблюється; 2 – первинний вимірювальний перетворювач; 3 – управляючий прилад; 4 – схема управління верстатом; 5 – виконавчий орган верстата; А – робоча зона оброблення

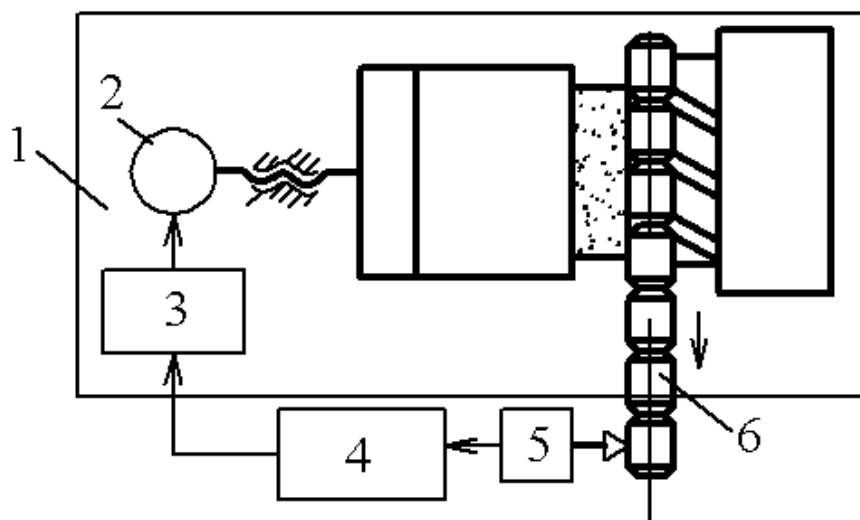


Рисунок 4.2 – Схема виносного контролю розмірів деталей:
 1 – шліфувальний верстат; 2 – привід супорта шліфувальної бабки;
 3 – схема управління верстатом; 4 – прилад для оброблення
 вимірювальної інформації та формування команд управління;
 5 – вимірювальний перетворювач; 6 – деталі, які обробляються

Первинний вимірювальний перетворювач 2 встановлюється у зоні оброблення деталі і служить для перетворення лінійного розміру деталі (у даному випадку – зовнішнього діаметра) у проміжний сигнал. Сигнал обробляється в управляючому приладі 3, на виході якого формуються команди управління верстатом. Команди управління поступають у схему верстата і реалізуються виконавчими органами верстата, які, у свою чергу, переміщують різальний інструмент.

Основні переваги операційного контролю: а) контролюється динаміка протікання процесу оброблення деталі; б) є можливість формувати команди управління на будь-якій фазі процесу оброблення; в) швидке реагування на дію випадкових сторонніх чинників.

Виносний контроль частіше застосовуються на верстатах, що працюють за принципом “шліфування на прохід”. Ці прилади отримали назву підналагоджувальників.

Розмір деталей контролюється відразу після їх оброблення на виході з верстату. Результат вимірювання фіксується і порівнюється з заданим розміром або еталоном. Якщо є відхилення розміру від заданого значення, формується команда управління, яка подається у схему верстата і приводить в дію виконавчий орган – механізм переміщення супорта шліфувального круга.

До переваг виносного контролю можна віднести: а) контроль виконується за відсутності вібрацій, механічної дії змащувально-охолоджуючої рідини і стружки, зменшується вплив температури; б) є можливість виконання вимірювань у важкодоступних місцях; в) вимірювання може проводитись в умовах, близьких до умов експлуатації; г) номенклатура параметрів контролю не обмежується характером технологічного обладнання.

4.2 Методи контролю і структурна побудова систем управління точністю оброблення

Незалежно від технологічного обладнання засоби активного контролю у загальному вигляді будуються за єдиною структурною схемою (рис. 4.3), що складається з окремих елементів, призначених для виконання заданих функцій.

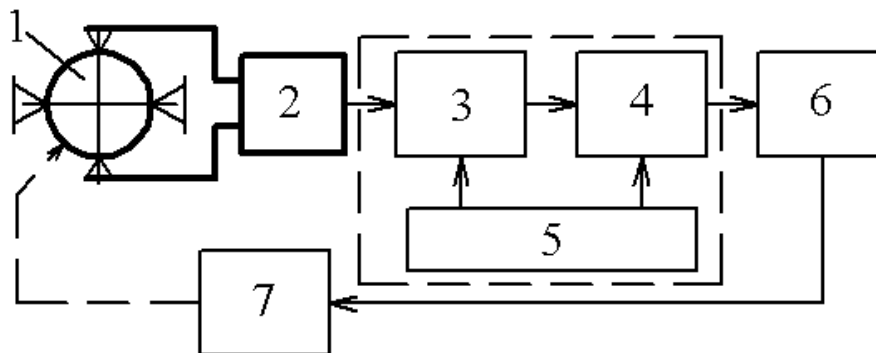


Рисунок 4.3 – Структурна схема засобу активного контролю:
1 – деталь, розміри якої контролюються (об'єкт регулювання);
2 – вимірювальний перетворювач; 3 – вимірювальний пристрій; 4 – пристрій формування команд управління; 5 – блок живлення; 6 – схема управління верстатом; 7 – виконавчий орган верстату

Як видно зі схеми, системи активного контролю є різновидом систем автоматичного регулювання – присутній замкнутий контур зі зворотним зв'язком. Об'єктом регулювання служить розмір деталі, яка обробляється. Закон регулювання формується в управляючому приладі.

Якщо система активного контролю застосовується на верстаті з ЧПК, то функцію формування закону автоматичного регулювання доцільно покласти на мікропроцесорні засоби управління верстатом. У цьому випадку появляється можливість гнучкого управління верстатом, у залежності від технологічних вимог.

У зв'язку з тим, що система активного контролю створює вирішальний вплив на розмір оброблення деталі, іноді вживається визначення – система управління точністю оброблення.

Слід відмітити, що прилади активного контролю фіксують не повний розмір контрольованого параметра, а тільки припуск на оброблення. Діапазон відліку відповідно лежить у межах, що перевищує максимальний припуск на 50-100%. Повний розмір задається “жорстким калібром” – механічно фіксованою установкою вимірювальних наконечників первинного перетворювача. Наприклад, для контролю діаметра деталі $50 \pm 0,25$ мм, діапазон вимірювання приладу буде складати $(500 \text{ мкм} + 250 \text{ мкм} = 750 \text{ мкм})$ 750 мкм (0,75 мм), а вимірювальні наконечники будуть жорстко встановлені один від одного на віддалі $(50 - 0,25 = 49,75 \text{ мм})$ – 49,75 мм.

4.3 Первинні перетворювачі і вимірювальна оснастка

Основним вузлом системи активного контролю, від якого залежить точність вимірювання, є вимірювальний (первинний) перетворювач.

Основною класифікаційною ознакою вимірювального перетворювача є його принцип дії, який зумовлює метрологічні, експлуатаційні характеристики та конструктивну побудову. Використовується резистивний, пневматичний, індуктивний, ємнісний принцип дії, або комбінований, наприклад пневмоелектроконтактний.

У даний час найбільшого поширення набули індуктивні перетворювачі з однією або двома (диференціальні перетворювачі) обмотками. Вони забезпечують високу точність перетворення, достатньо великий діапазон вимірювання (до 1000 мкм), прості у виготовленні, надійні і довговічні в експлуатації.

За видом вихідного сигналу перетворювачі поділяють на дискретні та аналогові, за типом чутливого елементу – на контактні та безконтактні.

Конструктивно первинні перетворювачі виконуються у вигляді окремого пристрою або вузла, що поєднує, власне, вимірювальний перетворювач, вимірювальну оснастку, механізм арретування (включення), елементи механічного кріплення та регулювання (рис. 4.4).

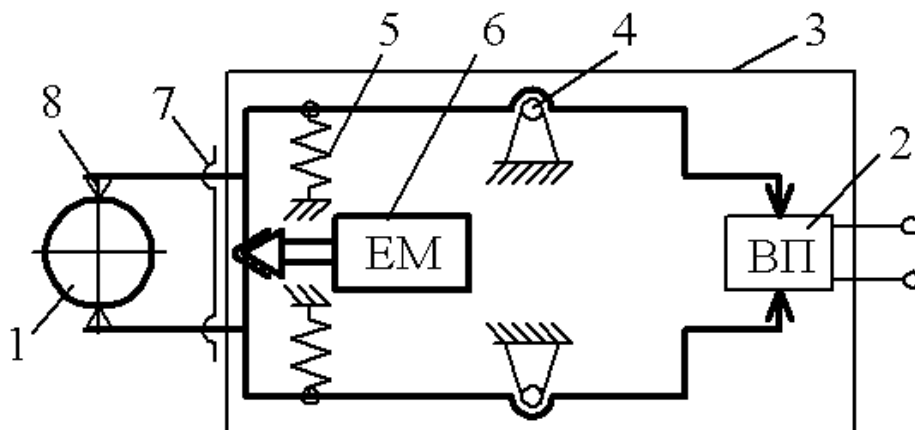


Рисунок 4.4 – Схема первинного перетворювача:

- 1 – деталь, діаметр якої контролюється; 2 – вимірювальний перетворювач; 3 – корпус; 4 – шарнірні опори; 5 – пружини для створення вимірювального зусилля; 6 – механізм арретування; 7 – ущільнюючий елемент; 8 – вимірювальні наконечники

4.4 Особливості побудови кінематичних схем вимірювальних перетворювачів

Перед проектуванням вимірювальної оснастки насамперед задаються формою і розмірами поверхні контрольованої деталі, типом та розмірами вимірювального перетворювача, особливостями конструкції технологічного обладнання. Необхідно також враховувати деякі специфічні особливості

конструкції:

- а) люфти у механічних передачах не допускаються;
- б) кількість регулюючих елементів повинна бути мінімальною;
- в) вплив температури, вібрації, інших механічних дій повинні бути або компенсовані, або прийняті міри по захисту від них;
- г) для роботи вимірювального перетворювача, механізму арретування слід використовувати тільки ті види енергії, які присутні у схемі технологічного обладнання.

У залежності від умов використання формуються вимоги до вимірювальних перетворювачів, але існує ряд загальних вимог:

- лінійність перетворення;
- висока чутливість і точність;
- стабільність характеристик у часі;
- висока надійність, зручність в експлуатації;
- висока вибірність і захист від шумів;
- простота та технологічність конструкції;
- стандартизація та взаємозамінність елементів конструкції.

4.5 Пристрої формування команд управління

Пристрої формування команд (відліково-командні, управляючі прилади) призначені для оброблення інформаційного сигналу, що поступає з вимірювального перетворювача, та видачі управляючого сигналу в схему управління технологічним обладнанням.

Схема управляючого приладу (рис. 4.5) повністю залежить від типу вимірювального перетворювача, технологічного процесу і типу обладнання.

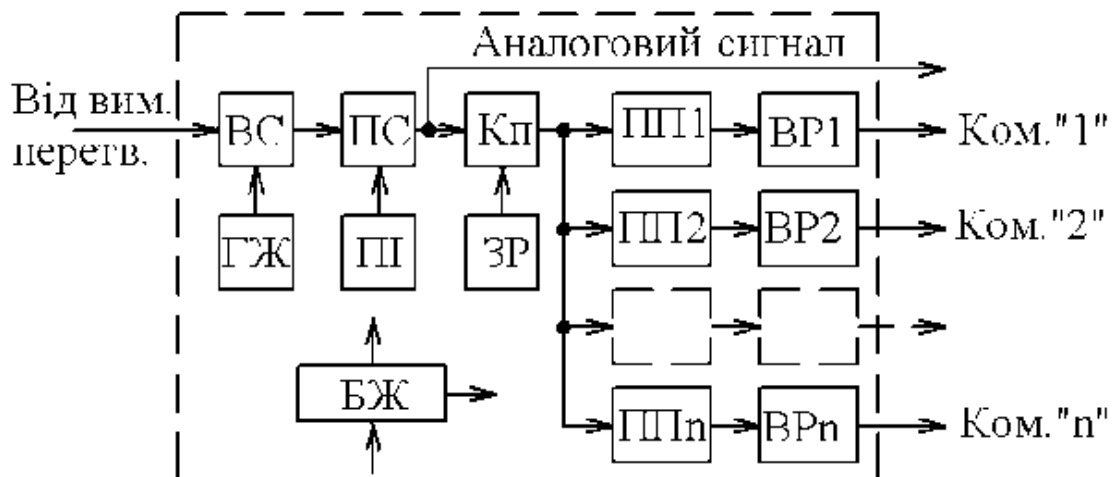


Рисунок 4.5 – Структурна схема управляючого приладу:

ВС – вимірювальна схема; ПС – попередній підсилювач струму;
Кп – пороговий підсилювач (компаратор); ГЖ – генератор живлення вимірювальної схеми; ПІ – пристрій індикації; ЗР – задавач рівня команд; ПП1...ПП_n – підсилювачі потужності; ВР1...ВР_n – вихідні реле; БЖ – блок живлення

Сигнал з вимірювального перетворювача поступає у вимірювальну схему приладу ВС і підсилюється попереднім підсилювачем ПС. Для стабільної роботи вимірювальної схеми використовується додатковий стабілізатор живлення ГЖ. З попереднього підсилювача сигнал поступає на стрілочний, цифровий або сигнальний пристрій індикації і на пороговий підсилювач Кп, у якому формуються рівні спрацювання вихідних дискретних команд. Ці сигнали підсилюються підсилювачами потужності ПП1...ПП_n і приводять до спрацювання вихідних реле. Вихід управляючого приладу з'єднується з схемою управління верстатом. Якщо прилад встановлюється на верстаті з ЧПК, то у ньому повинен бути додатковий вихід з нормованим електричним сигналом, наприклад, 0 – 5 мА або 0 – 1 В. Живлення всіх елементів схеми приладу забезпечується блоком живлення БЖ.

Якщо сигнал з вимірювального перетворювача має неелектричну фізичну природу, наприклад, пневматичний, то у вимірювальну схему ВС включається додатково пневмоелектричний перетворювач сигналу.

Управляючі прилади виконуються, як правило, у вигляді окремого пристрою і часто мають універсальне призначення – можуть використовуватись на верстатах різних типів і працювати з різними (але однорідними за видом сигналу) вимірювальними перетворювачами.

Вимірювальна схема приладу повинна забезпечувати максимальну чутливість, лінійність перетворення і стабільність вихідних команд, тобто мати високу ступінь захисту від впливу збурюючих чинників.

4.6 Вимірювальні схеми пневматичних приладів

Управляючі пневматичні прилади за методом перетворень поділяють на дві групи:

1. Манометричні – реагують на зміну тиску;
2. Ротаметричні – реагують на зміну швидкості повітряного потоку.

У даний час найбільш поширені диференціальні манометричні вимірювальні схеми (рис. 4.6). У першому розгалуженні, що складається з вхідного сопла f_1 і пневматичного перетворювача $П$, який сприймає зміну розміру деталі 1, витрати визначаються тиском h_1 .

Друге розгалуження, утворене вхідним соплом f_2 і соплом протитиску 3 з попередньо встановленим проміжком z_{const} має постійні витрати, що визначаються тиском h_{2const} . Це розгалуження носить назву – протитиску. Диференціальні схеми, для яких характерне порівняння двох тисків h_1 і h_2 , менш чутливі до коливань робочого тиску H .

У якості вимірювача тиску 2 використовуються сильфонні або мембранні дифманометри, що реагують на різницю тисків $\Delta h = h_1 - h_2$.

За аналогією з електричними вимірюваннями пневматична схема (рис. 7.6) є пневматичним невірноваженим мостом, до однієї діагоналі якого прикладено перепад тисків $P = (H + P_a) - P_a$, де P_a – атмосферний тиск, а до іншої діагоналі під'єднано дифманометр. Як і для електричних схем у

пневматиці можуть реалізовуватись компенсаційні врівноважені вимірювальні мостові пневматичні схеми.

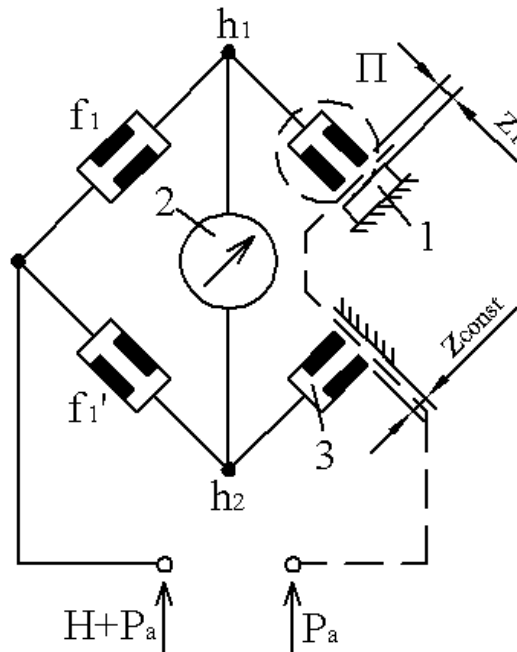


Рисунок 4.6 – Диференціальна вимірювальна схема пневматичного приладу: 1 – деталь; 2 – вимірювач тиску; 3 – сопло протитиску

Широке практичне застосування отримали диференціальні манометри, у яких, як чутливі елементи використано пружні сильфони (рис. 4.7).

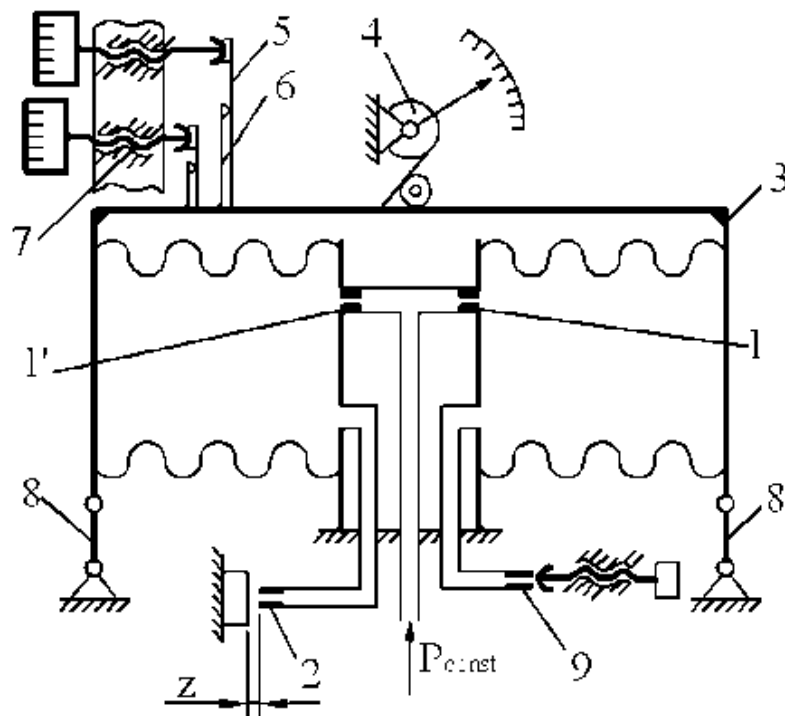


Рисунок 4.7 – Схема сильфонного дифманометра

Стиснуте повітря під постійним стабілізованим тиском P_{const} через сопла 1-1¹ поступає в порожнини сифонів. З лівого сифона повітря через проміжок z , утворений вимірювальним соплом 2 і контрольною деталлю, витікає в атмосферу. У цьому сифоні створюється вимірювальний тиск h_1 , величина якого залежить від величини проміжку z , тобто розміру деталі.

З правого сифона повітря витікає в атмосферу через вентиль протитиску 7, а в порожнині сифона створюється постійний тиск h_2 . Вільні торці сифонів жорстко зв'язані стяжкою 3, що підвішена на плоскопружинних шарнірах 8. Положення рухомої системи приладу визначається різницею тисків – вимірювального h_1 та постійного протитиску h_2 у сифонах.

Переміщення рухомої частини передається з допомогою механізму 4 на стрілку відлікового пристрою і приводить до спрацювання груп електричних контактів 5, 6, момент спрацювання яких регулюється.

4.7 Вимірювальні схеми індуктивних приладів

Найбільш поширені вимірювальні схеми для роботи з індуктивними перетворювачами – мостові схеми змінного струму, що працюють у режимі врівноваження, або у режимі відхилень (неврівноважені мости). Суть фізичних перетворень полягає у наступному: зміна розміру деталі приводить до зміни індуктивності L котушки у вимірювальному перетворювачі, що приводить до зміни реактивного опору котушки x_L від проходження через неї змінного струму, а відповідно, і до зміни повного опору $z = x_L + r_a$.

Мостові схеми і служать для вимірювання опору. Вимірювальний міст – це послідовне кільцеве з'єднання чотирьох опорів, які називаються плечами моста, та утворюють дві діагоналі: ac – діагональ живлення і bd – діагональ навантаження (вимірювальна) (рис. 4.8). Міст буде врівноваженим – струм I_B у вимірювальній діагоналі не протікає – $I_B = 0$, за умові рівності добутку опорів протилежних плеч: $z_1 \cdot z_4 = z_2 \cdot z_3$.

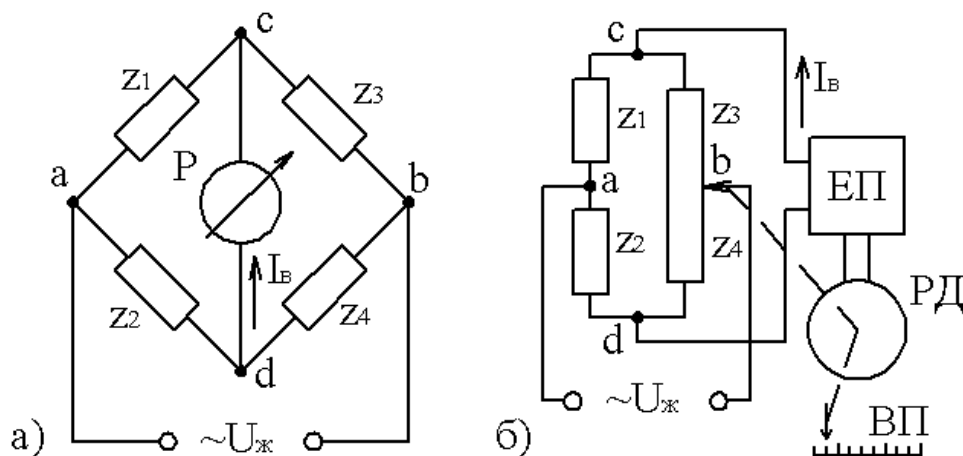


Рисунок 4.8 – Схема неуврівноваженого (а) та уврівноваженого (б) автоматичних вимірювального мостів

Для вимірювання, у одне з плеч моста включають елемент, наприклад, котушку індуктивного перетворювача, опір якого необхідно визначити. Зміна опору z_x викличе відповідну зміну струму у вимірювальній діагоналі неврівноваженого моста – $I_B = f(z_x)$.

Для узгодження вхідного опору навантаження – показуючого приладу (рис. 4.8, а) чи вимірювального підсилювача (рис. 4.8, б), – з загальним опором моста, необхідно, щоб виконувалась умова:

$$Z_H = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + \frac{Z_3 \cdot Z_4}{Z_3 + Z_4}.$$

У автоматичних врівноважених мостах (рис. 4.8, б) плечі z_3 і z_4 утворені одним змінним резистором (реохордом), середньою точкою якого є движок, механічно з'єднаний з валом реверсивного двигуна РД. У вимірювальну діагональ включено підсилювач ЕП, навантаженням якого і є реверсивний двигун. При розбалансуванні моста, – змінюється опір вимірювального плеча z_x , на вході підсилювача з'являється сигнал неузгодження і починає обертатися вал двигуна РД в ту або іншу сторону, переміщуючи движок реохорда до того часу, доки не відновиться баланс схеми. Вал двигуна РД механічно зв'язаний зі стрілкою відлікового пристрою ВП, по якому і проводиться зчитування показів.

У приладах активного контролю переважно використовуються схеми неврівноважених мостів змінного струму, з частотою живлення 5 – 20 кГц. У одне з плеч моста включається котушка індуктивного перетворювача, а у решті плеч встановлюються постійні резистори з еквівалентним активним опором (рис. 4.9, а).

З метою збільшення діапазону вимірювання і лінеаризації передатної характеристики широко застосовуються диференціальні вимірювальні схеми (рис. 7.9,а), а також схеми з трансформаторним зв'язком (рис. 4.9, б).

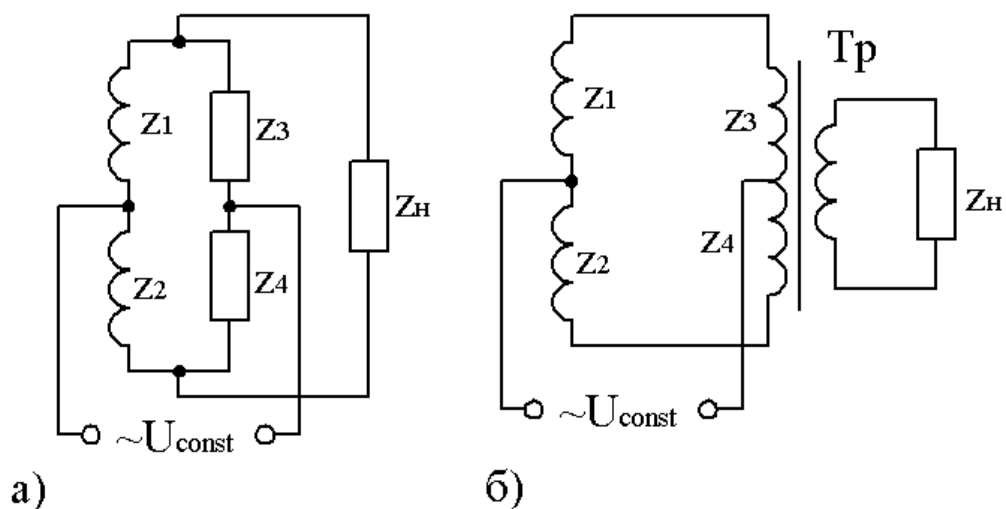


Рисунок 4.9 – Схема вимірювального моста з диференціальною котушкою (а) і з трансформатором (б)

Покращені характеристики має двохвузлова схема включення котушок вимірювального перетворювача (рис. 4.10).

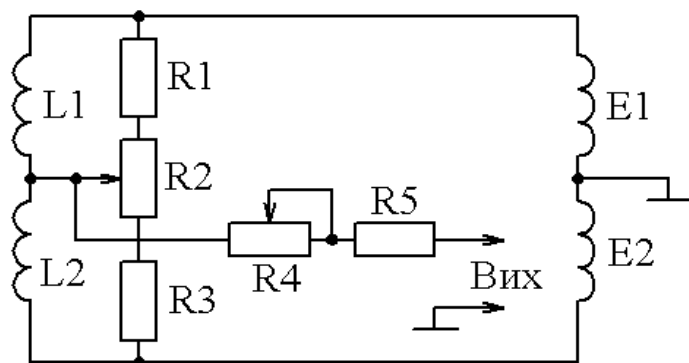


Рисунок 4.10 – Двохвузлова схема включення котушок

Кожна з котушок індуктивного перетворювача індуктивністю L живиться від джерела високочастотної напруги E . Середня точка котушок через змінний опір $R4$, яким регулюється чутливість, підключається до вихідного опору $R5$. Балансування схеми в нульовій точці здійснюється опором $R3$.

Котушки з повним опором z_1 та z_2 звичайно є елементами вимірювального перетворювача, який встановлюється у місці безпосереднього перетворення розміру, і з'єднуються з іншими елементами вимірювальної схеми з допомогою кабелю з захисною оболонкою.

4.8 Підсилювальні, виконавчі та допоміжні пристрої управляючих приладів

У схемах високочастотних індуктивних приладів, з метою підвищення чутливості, між вимірювальним мостом і вихідним показуючим приладом встановлюють додатково підсилювачі струму, а для отримання на виході приладу аналогового сигналу – нормуючі підсилювачі. У цьому випадку опір навантаження R_n – вхідний опір електронного підсилювача, буде доволі значним.

У якості показуючих пристроїв у індуктивних приладах для лінійних вимірювань, в основному використовуються мікроамперметри і мілівольтметри магнітоелектричної системи, які через підсилювач струму з'єднуються з вимірювальною діагоналлю моста.

У вихідних каскадах для видачі управляючих дискретних команд використовуються електромагнітні реле. Їх кількість рівна кількості вихідних команд. Вихідні реле підключаються до вимірювальної схеми через підсилювач потужності.

Для розділення вихідних команд за рівнем вимірювального сигналу служать компаратори напруги – електронні ключі, які спрацьовують дискретно, коли вхідний сигнал стає рівним опорній напрузі. А опорна напруга виставляється регулятором рівня спрацювання команди. Таким чином,

спрацювання вихідного реле відбувається у заданий момент, тобто, за досягнення значення розміру необхідної, наперед заданої величини. Спрацювання останньої команди в управляючих приладах завжди відбувається, коли стрілка показуючого пристрою доходить до відмітки «0» шкали і не може бути зміщена.

Високі вимоги висуваються до блоків живлення, які, як правило, живляться від мережі змінного струму 220 В. Вихідна напруга повинна бути високостабілізованою та незмінною протягом тривалого часу роботи.

Для захисту від електричних наводок та високочастотних завад у схемах живлення використовуються комбіновані *LC* – фільтри.

Контрольні питання

1. Як здійснюється контроль розмірів деталей в процесі обробки?
2. Які основні переваги операційного контролю?
3. У яких випадках застосовується виносний контроль?
4. Які переваги і недоліки характерні для системи підналагодження в порівнянні з операційним контролем?
5. Поясніть призначення і функції основних елементів систем підналагодження?
6. Як змінюється форма сигналу управління при зміні розміру контрольованої деталі?
7. Назвіть основні фактори, що впливають на точність вимірювання і методи їх усунення.
8. Для чого призначені пристрої формування команд управління?
9. На які групи поділяються пневматичні прилади за методом перетворень?
10. Поясніть принцип роботи сильфонного диференційного манометра?
11. Які вимірювальні схеми використовуються для роботи з індуктивними вимірювальними перетворювачами?
12. Що являє собою система автоматичного підналагодження?
13. Як класифікуються методи підналагодження за принципом дії?
14. Поясніть принцип роботи системи активного контролю для спряженого оброблення деталей?
15. Що являє собою комбінований активний контроль?

ТЕМА 5 МЕТОДИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ

План

- 5.1 Системи автоматичного підналагодження.
- 5.2 Виносний контроль розмірів.
- 5.3 Системи активного контролю для спряженого оброблення деталей.
- 5.4 Комбіновані системи контролю.

5.1 Системи автоматичного підналагодження

Підналагодження є однією з форм реалізації розмірних зворотних зв'язків під час оброблення деталей на металорізальних верстатах. До підналагоджувальників належать вимірювальні засоби, які через кола зворотного зв'язку змінюють налагодження верстату, або пристрою, що управляє роботою верстату, якщо значення контрольованого параметру виходить за допустимі межі, або відхиляється від заданого значення.

Підналагодження базується на непрямому методі контролю, за якого вимірюється не розмір деталі, яка виготовляється, а положення поверхні деталі або положення різальної крайки інструменту і виконавчих органів верстату відносно бази встановлення вимірювального засобу.

Непрямий метод є менш точний ніж прямий, так як на його точність великою мірою впливають теплові та силові деформації технологічної системи. Але існує ряд принципів, які дозволяють підвищувати точність непрямих методів контролю.

На рисунку 5.11 показано систему автоматичного підналагодження для безцентрово-шліфувального верстата, що працює за схемою оброблення на прохід.

Деталі 1¹ проходять перед робочим органом верстату 4 і поступають на вимірювальну позицію, де їх розмір контролюється приладом 2. Якщо розмір відхиляється від заданого значення, то сигнал управління по лінії зворотного зв'язку поступає на виконавчий пристрій верстату 3 – храповий механізм з ходовим гвинтом мікроподачі, і переміщує робочий орган верстата – шліфувальну бабку 4.

У системах підналагодження такого типу слід враховувати, що деталі, які знаходяться в інтервалі N , можуть мати розмір, що виходить за межі допустимого. Запобігання виходу браку може виконуватись двома шляхами:

- 1) у систему контролю вводиться розбраковуючий пристрій – для відведення з потоку деталей, розмір яких виходить за межі допуску;
- 2) збільшують чутливість вимірювального приладу і виконавчого механізму – межі регулювання встановлюються значно нижчими, ніж межі допуску на розмір.

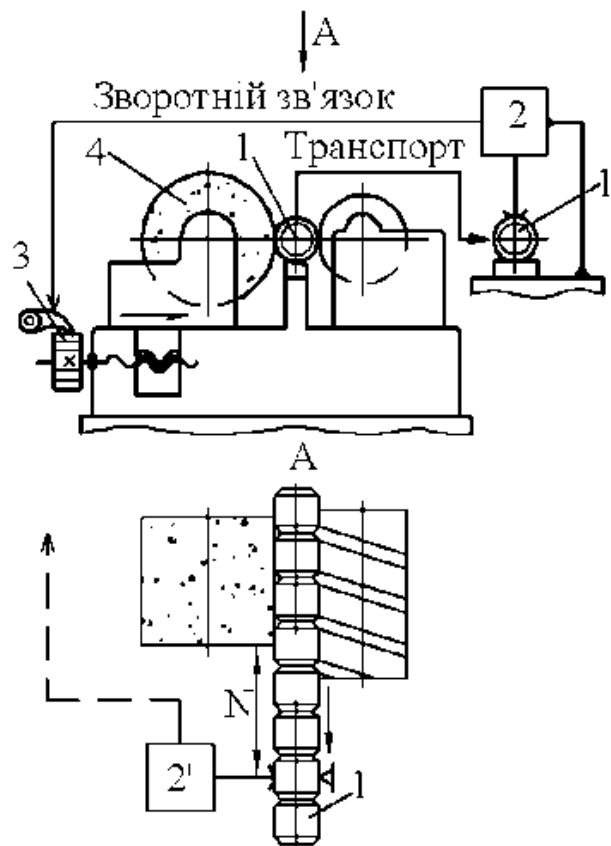


Рисунок 5.1 – Функціональна схема підналагоджувальної системи:
 1,1¹ – деталі, розмір яких контролюється; 2 – вимірювальний прилад; 3 – виконавчий пристрій верстату; 4 – робочий орган верстату; N – інтервал запізнення контролю

5.2 Виносний контроль розмірів

За принципом дії методи підналагодження можна класифікувати наступним чином:

- а) підналагодження за однією деталлю;
- б) підналагодження за повторними імпульсами;
- в) за положенням ріжучої крайки інструменту або ріжучої поверхні шліфувального круга;
- г) за одним або двома граничними розмірами;
- д) за положенням центру групвань випадкових похибок:
 - за середнім арифметичним;
 - за медіаною;
- е) слідкуючі або «інтелектуальні» підналагоджувальні системи.

Системи автоматичного підналагодження не можуть компенсувати випадкових технологічних похибок на відміну від операційних систем контролю, які компенсують як функціональні так і випадкові похибки. Окремі складові сумарної похибки підналагодження дозволяють висувати певні вимоги як до точності самих вимірювальних приладів, так і всього комплексу,

включаючи верстат. Таким чином, точність активного контролю розмірів можна підвищити тільки комплексним підходом, підвищуючи точність елементів всієї технологічної системи.

Підналагоджувальники можуть здійснювати вплив на бабку або супорт, що утримують інструмент, на бабку виробу, на стіл верстата, на рухомий чутливий або жорсткий упор, а також на будь-який регулювальний елемент вимірювального пристрою, що здійснює контроль у процесі оброблення. Для токарного оброблення підналагодження може здійснюватися шляхом повороту багаторізцевої головки, в результаті чого, після затуплення одного різця у дію вводяться інші.

Метод підналагодження за часом полягає у тому, що команда на підналагодження подається після оброблення деякої попередньо встановленої кількості деталей. Кількість циклів, після проходження яких виконується підналагодження, залежить від інтенсивності зміни за часом розмірів деталі та від величини підналагоджувального імпульсу. Так як похибки оброблення мають випадковий характер, то завжди можуть виникати неузгодження між заданим законом компенсації цих похибок та фактичним законом їх зміни. Це основний недолік такого методу підналагодження.

Підналагоджувальники можуть контролювати розмір у процесі оброблення, наприклад, положення різальної поверхні шліфувального круга, та після оброблення – контроль оброблених деталей на виході із зони оброблення. Але ці системи завжди здійснюють контроль в процесі оброблення партії деталей.

Технологічні системи, у яких використовуються підналагоджувальники є ациклічними, тобто мають непостійну тривалість циклу оброблення.

5.3 Системи активного контролю для спряженого оброблення деталей

Отримання спряжень з допусками на проміжок або натяг у декілька мікрон, за умови забезпечення повної взаємозамінності, часто економічно не вигідно, так як виготовлення деталей з допуском у 1 – 2 мкм є досить складною технічною задачею. Для отримання таких спряжень найчастіше застосовують індивідуальну підгонку, а у масовому виробництві селективне (вибіркове) складання.

Індивідуальна підгонка є досить трудомісткою операцією, селективне складання теж викликає певні труднощі, тому у цьому випадку часто застосовують метод спряженого оброблення деталей.

Суть методу полягає у тому, що одну з поверхонь спряження, частіше отвір, виготовляють з відносно великим полем допуску, а потім до кожної деталі автоматично, з допомогою засобів активного контролю, обробляється вал. Діаметр валу повинен бути таким, щоб під час складання з парною втулкою забезпечувався необхідний натяг або проміжок.

Схеми приладів для спряженого оброблення будуються таким чином, щоб їх покази та видача команд на виконавчі органи верстата залежали тільки від різниці розмірів спряжуваних поверхонь:

$$\Delta = D_1 - D_2, \quad (5.1)$$

де D_1 – діаметр отвору під посадку (охвачуючої поверхні);

D_2 – діаметр валу (охвачуваної поверхні).

Для реалізації цього методу оброблення може використовуватись диференційна схема вимірювання, тобто мостова схема вимірювання, у якій суміжні плечі утворені двома ідентичними незалежними індуктивними перетворювачами (рис. 5.2).

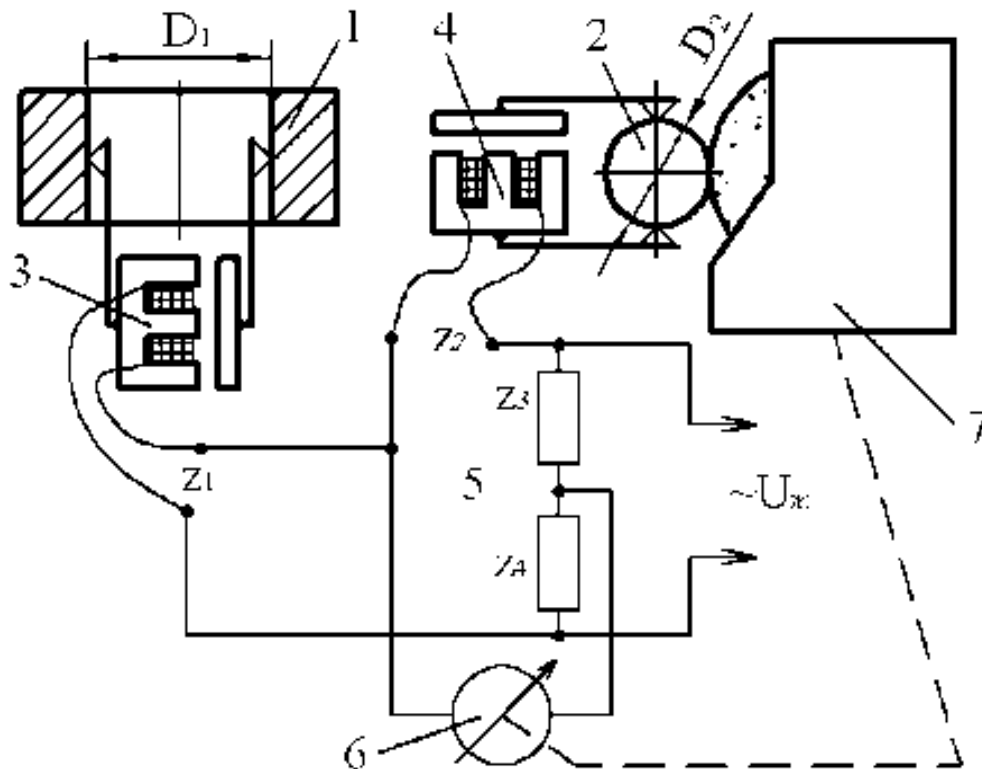


Рисунок 5.2 – Схема контролю для спряженого оброблення деталей:

1 – деталь з отвором під посадку – «втулка»; 2 – деталь «вал»;

3,4 – вимірювальні перетворювачі; 5 – вимірювальна схема приладу;

6 – управляючий прилад; 7 – виконавчий орган верстату

Деталь 1 з отвором D_1 , встановлюється на контрольній позиції. Деталь 2 – вал, діаметр D_2 якого повинен забезпечити задану посадку з отвором D_1 , обробляється на шліфувальному верстаті. Контроль діаметрів здійснюється одночасно двома індуктивними вимірювальними перетворювачами 3 і 4, котушки яких включені в мостову вимірювальну схему 5, як суміжні плечі моста. Вимірювальна оснастка давачів налагоджується таким чином, щоб за $D_1 = D_2$, опір індуктивних котушок був рівним: $x_{L1} = x_{L2}$, тобто вимірювальний міст врівноважувався. Вихід вимірювального приладу 6 включається у схему управління верстатом і управляє виконавчим органом 7.

5.4 Комбіновані системи контролю

Для високоточного оброблення деталей застосовують різні вимірювальні системи, які хоч і мають високу вартість та є конструктивно складними технічними пристроями, але можуть забезпечити гарантовану точність оброблення деталей.

Досить ефективним є метод поєднання операційного та виносного контролю в одній системі. Всі недоліки, властиві операційній системі – вплив вібрацій, дії ЗОР та стружки, температурних похибок, які впливають на точність вимірювань на першому етапі, повністю відсутні на другому етапі вимірювань. Отже, всі динамічні похибки процесу шліфування виявляються на першому етапі контролю, а вплив сторонніх чинників – на другому, виносному контролі. Сигнали з обох позицій порівнюються і на їх основі формуються команди на підналагодження. Крім цього, у схемі передбачається використання вимірювального "заслону" – розсортовуючого пристрою на виході технологічної системи.

Одним з варіантів реалізації високоточного оброблення є двохступеневі підналагоджувальні системи – комбінований активний контроль (рис. 5.3).

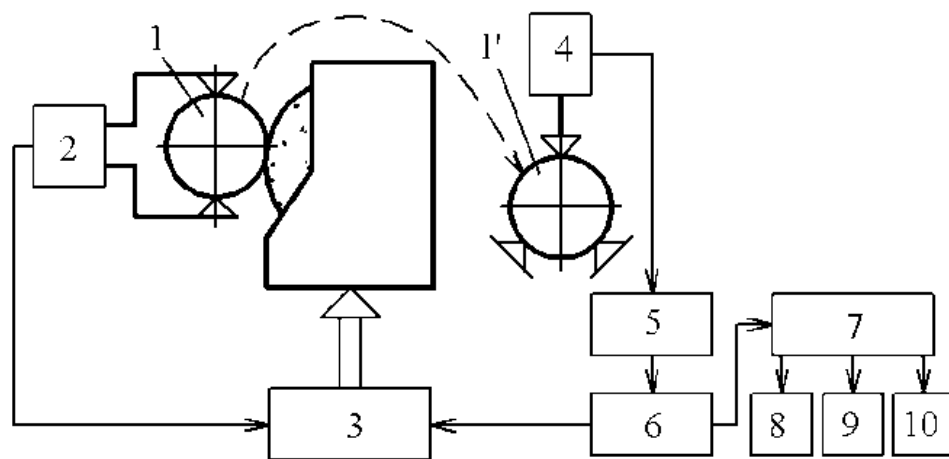


Рисунок 5.3 – Двохступенева підналагоджувальна система фірми «Федераль»: 1– деталь, що обробляється; 1' – деталь на вимірювальній позиції; 2 – прилад операційного контролю; 3 – виконавчий механізм верстату; 4 - вимірювальний перетворювач виносного контролю; 5 – вимірювальний прилад виносного контролю; 6 – підсилювально-управляючий пристрій; 7 – механізм розсортування деталей; 8 – 10 – магазини для придатних (9) та бракованих деталей (8, 10)

У поданій схемі, прилад операційного контролю 2 управляє виконавчим механізмом верстату 3. Під час оброблення деталь може нагріватися, вимірювальні наконечники зношуватись тощо. Ці зміни приводять до зміни розміру деталі 1, але не можуть фіксуватись приладом 2.

Для компенсації подібних похибок встановлено другий вимірювальний

пристрій 5 з датчиком 4, до якого автоматично подаються оброблені деталі 1¹. За результатами виносного вимірювання цих деталей, прилад 5 з допомогою підсилювача 6 змінює налагодження приладу 2, зміщуючи його межі контролю. Зміщення виконується або на обумовлену частину поля допуску деталі, або пропорційне величині відхилень, зафіксованих давачем 4. Крім цього, підсилювач 6 управляє механізмом 7, який розподіляє оброблені деталі на три групи: «придатні», «брак +» та «брак –». Якщо поступило три браковані деталі підряд, верстат автоматично зупиняється.

Контрольні питання

1. Що являє собою система автоматичного підналагодження?
2. Як класифікуються методи підналагодження за принципом дії?
3. У чому полягає метод підналагодження за часом?
4. Поясніть принцип роботи системи активного контролю для спряженого оброблення деталей?
5. Що являє собою комбінований активний контроль?

ТЕМА 6 МЕТРОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ТОЧНОСТІ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ

План

- 6.1 Характеристика похибок розмірів.
- 6.2 Критерії оцінки похибок розмірів.
- 6.3 Визначення похибок контролю в процесі оброблення.
- 6.4 Побудова схем налагодження.
- 6.5 Аналіз точності підналагоджувальних систем.
- 6.6 Підналагодження за однією деталлю.

6.1 Характеристика похибок розмірів

Похибки розмірів можуть виникати як під час оброблення, так і під час контролю деталей. Відповідно, похибки розмірів можна розділити на похибки оброблення та похибки вимірювання. Такий поділ є умовним, так як похибки мають однаковий характер і їх необхідно розглядати сукупно.

У метрології похибки поділяють на випадкові та систематичні.

Випадковими називаються похибки, непостійні за величиною та знаком, значення кожної з яких практично неможливо передбачити; систематичні – похибки постійні за величиною та знаком або ті, які змінюються за певним законом. Систематичні похибки діляться на постійні та функціональні.

Характерною ознакою систематичних похибок є їх повторюваність від одного досліду до іншого, або від однієї серії дослідів до іншої. Саме повторюваність дозволяє розглядати систематичні похибки, як закономірні.

Теоретично систематичні похибки можна розглядати як границі, до яких прямують опосередковані випадкові похибки і параметри розсіювання випадкових похибок, якщо збільшується число експериментів.

До систематичних функціональних похибок відносяться похибки оброблення на металорізальних верстатах, похибки показів універсальних приладів, похибки автоматичного активного та післяопераційного контролю розмірів.

До випадкових функціональних похибок відносяться ті, які є функцією будь-якого невинного параметру – часу, розмірного параметра, маси, температури, тиску тощо, тобто функцією такого незалежного параметру, значення якого задаються під час проведення експерименту.

Якщо випадкові функціональні похибки є функцією часу (що буває найчастіше), то вони належать до випадкових процесів.

Випадковий процес – це така функція часу, значення якої у кожний даний момент є випадковою величиною.

Засоби активного контролю розмірів управляють роботою металорізальних верстатів, тому їх необхідно розглядати як частину технологічної системи. Отже, задачі точності для систем з активним

контролем вирішуються так само, як і для будь-якого процесу оброблення. Тому і похибки розмірів, які виникають у процесах активного контролю, необхідно нормувати так як і похибки оброблення, тобто оцінювати як поле розсіювання розмірів деталей, оброблених на металорізальному верстаті з участю засобів активного контролю.

На даний час прийнято метод оцінки сумарних параметрів розсіювання розмірів, який полягає у тому, що похибки різні за характером не відокремлюються одні від інших. Основний недолік цього методу – не враховується динаміка процесів вимірювання, їх функціональний характер.

Задачу розділу випадкових та функціональних похибок можна вирішити з допомогою методу «ковзної» середньої.

Суть методу полягає у наступному. Із всієї сукупності розмірів береться вибірка, що складається з N розмірів послідовно розташованих деталей. Потім визначається середнє арифметичне розмірів деталей вибірки, яке характеризує собою положення центру групування власне випадкових похибок оброблення. Всі наступні вибірки, що складаються з такого ж числа деталей, беруться із зсувом на одну деталь. Таким чином, до складу вибірок по чергово включаються всі наступні деталі за одночасного почергового виключення із складу вибірки попередніх деталей.

Ковзну середню можна розглядати як одну з характеристик випадкових функцій і випадкових процесів.

6.2 Критерії оцінки похибок розмірів

Відмінність критеріїв оцінки похибок оброблення та вимірювання зумовлюється відмінністю мети, яка ставиться у процесі отримання розміру та у процесі вимірювання.

Основна задача оброблення – розміри деталей, які обробляються, не повинні виходити за межі допуску. Похибка оброблення повинна оцінюватись амплітудно, тобто за абсолютною величиною.

Величина граничної похибки оброблення партії деталей оцінюється за формулою:

$$\delta = \Sigma M + 6\sigma_{\text{сум}}, \quad (6.1)$$

де δ – гранична похибка оброблення;

ΣM – алгебраїчна сума опосередкованих (систематичних) похибок;

$\Sigma_{\text{сум}}$ – сумарне середнє квадратичне відхилення власне випадкових похибок оброблення,

$$\sigma_{\text{сум}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}. \quad (6.2)$$

В основу виразу (6.1) покладено розподіл похибок за законом Гауса, який найчастіше використовується (рис. 6.1).

Достовірність значень похибок за формулою (6.1) тим більша, чим більша партія деталей і чим менша інтенсивність зміни у часі функції похибок

оброблення.

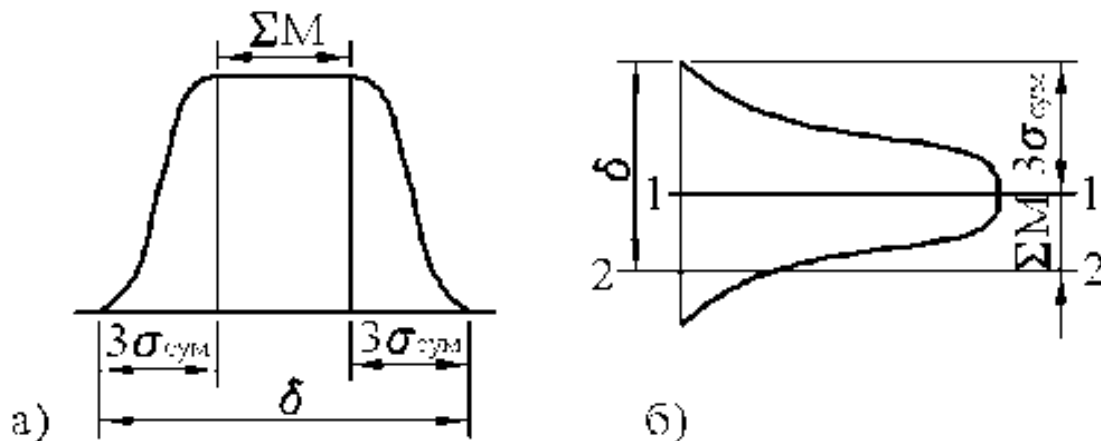


Рисунок 6.1 – Графічне зображення граничних похибок:
а) оброблення; б) вимірювання

На рисунку 6.1а приведено умовне графічне зображення граничної похибки оброблення. У загальному випадку, величину граничної похибки оброблення слід оцінювати за формулою:

$$\delta = \Sigma M + 3(\sigma_{\text{сум1}} + \sigma_{\text{сум2}}). \quad (6.3)$$

Для невеликих партій деталей величину граничної похибки оброблення слід визначати за формулою:

$$\delta = \Sigma M + 3\sqrt{2}\sigma_{\text{сум}}, \quad (6.4)$$

або, у загальному випадку, за формулою:

$$\delta = \Sigma M + 3\sqrt{\sigma_{\text{сум}}^2 + \sigma_{\text{сум}}^2}. \quad (6.5)$$

На відміну від оброблення, для вимірювань основна задача полягає у тому, щоб результати вимірювань якнайменше відхилялись від дійсних розмірів деталей. Всяке відхилення результатів вимірювання від дійсного значення є похибкою. Тому, величина граничної похибки вимірювання повинна виражатись, як

$$\delta = \Sigma M + 3\sigma_{\text{сум}}. \quad (6.6)$$

Графічне вираження формули (6.6) приведено на рисунку 6.1, б. Лінія 1 – 1 характеризує собою положення центру групування власне випадкових похибок, а лінія 2 – 2 – дійсне значення вимірюваної величини.

Другим важливим критерієм оцінки похибок оброблення та вимірювання є похибка налагодження, яка характеризується величиною зміщення центру групування власне випадкових похибок по відношенню до розміру налагодження. У цьому випадку необхідно враховувати її знак. Вона має однаковий характер як для отримання розміру так і для вимірювання розміру.

6.3 Визначення похибок контролю в процесі оброблення

Якщо контроль ведеться у процесі оброблення, то до складу ΣM входять головним чином систематичні температурні похибки, похибки, що виникають від зношування вимірювальних наконечників, та зміщення налагодження вимірювального перетворювача.

До складу $\sigma_{\text{сум}}$ входять похибки спрацювання приладів із врахуванням впливу динамічних факторів, похибки механічного ланцюга передачі вимірювального переміщення – похибки, спричинені проміжками, люфтами, незкомпенсованими та технологічними похибками, порогами чутливості, випадкові похибки базових поверхонь, товщина шару металу, що знімається за один прохід, випадкові температурні похибки, величина порогу спрацювання технологічної системи, похибки відліку й перетворення сигналу.

Величина $\sigma_{\text{сум}}$ визначається за формулою:

$$\sigma_{\text{сум}} = \sqrt{\sum \delta_i^2 \lambda_i}, \quad (6.7)$$

де δ_i – половина діапазону розсіювання i -ої випадкової похибки.

$$\lambda_i = \left(\frac{\sigma}{\delta} \right)^2. \quad (6.8)$$

Величина сумарної похибки активного контролю розмірів повинна вписуватись у поле допуску на оброблення – у цьому полягає основний сенс активного контролю розмірів.

На рисунку 6.2 у загальному вигляді показано, яким повинне бути співвідношення між величиною δ і полем допуску на оброблення. Лінія 1-1 характеризує функціональні похибки оброблення, а величина Δ_ϕ – резерв для компенсації похибки форми.

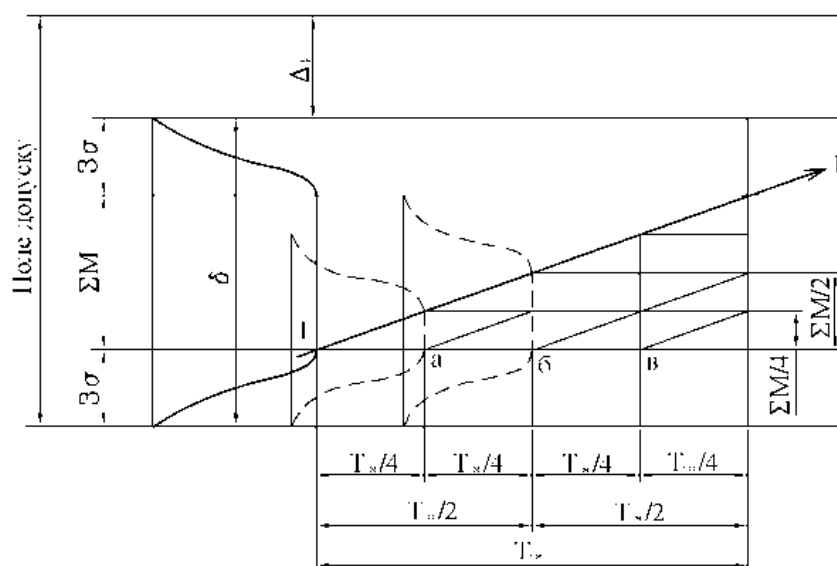


Рисунок 6.2 – Співвідношення між похибкою регулювання і величиною поля допуску на оброблення

Необхідність такого резерву зумовлюється тим, що під час активного контролю розмірів похибки форми, як правило, не компенсуються. Так, наприклад, під час контролю валів у процесі оброблення прилад фіксує мінімальний розмір оброблюваних заготовок, а під час контролю отворів – максимальний. Тому частина поля допуску повинна бути передбачена для компенсації овальності або огранки, так як ці похибки повинні вписуватись у поле допуску основного розміру. Величина Δ_ϕ залежить від якості та характеру технологічного процесу, її необхідно встановлювати окремо в кожному окремому випадку.

Якщо величина $\delta + \Delta_\phi$ не вписується в межі поля допуску, то протягом зміни (t_{zm}) прилад необхідно підналагоджувати. Підналагодження дозволяють зменшити лише вплив функціональних похибок. У цьому випадку величина граничної похибки δ вписується з необхідним запасом Δ_ϕ в межі поля допуску на оброблення. На рисунку 8.2 показано, як налагодження приладу (точки *a*, *b* і *в*) зменшує вплив функціональних похибок.

6.4 Побудова схем налагодження

Налагодження засобу активного контролю на заданий розмір зводиться до визначення положення лінії налагодження у межах поля допуску на оброблення. Лінія налагодження характеризує значення регульованого розміру, за досягнення якого подаються команди на підналагодження або на припинення процесу оброблення, або таке значення, при відхиленні від якого підналагоджувальна система приводиться в дію. Тут налагоджувальний розмір відповідає розміру зразкової деталі, за якою налагоджувався засіб активного контролю. Налагоджувальний розмір може характеризуватись також таким значенням регульованого розміру, за досягнення якого виконується підналагодження засобу активного контролю. Розташування лінії налагодження біля однієї або іншої межі поля допуску зумовлюється напрямом зміни функціональних похибок оброблення.

У дрібносерійному виробництві питання розроблення схем налагодження менш актуальне, ніж у масовому. У першому випадку налагоджувальний розмір може знаходитись приблизно посередині поля допуску оброблюваних деталей. Але в умовах масового виробництва неправильна побудова схем налагодження може стати причиною неоправдано частих підналагоджень приладів.

На рисунку 6.3 показано схеми налагодження для контролю у процесі оброблення. Для зовнішнього шліфування, якщо використовується контактний метод вимірювання, зношування наконечників приладу приводить до поступового збільшення розмірів деталей, які обробляються, а їх теплові деформації – до зменшення розмірів. Залежно від того, який із цих факторів виявиться суттєвішим, лінія налагодження розташується біля нижньої або верхньої межі поля допуску. На рисунку 6.3,а показано випадок, коли переважає вплив зношування вимірювальних наконечників, а на рисунку 6.3,б

– випадок, коли суттєвішим виявляється вплив похибок від температурного розширення.

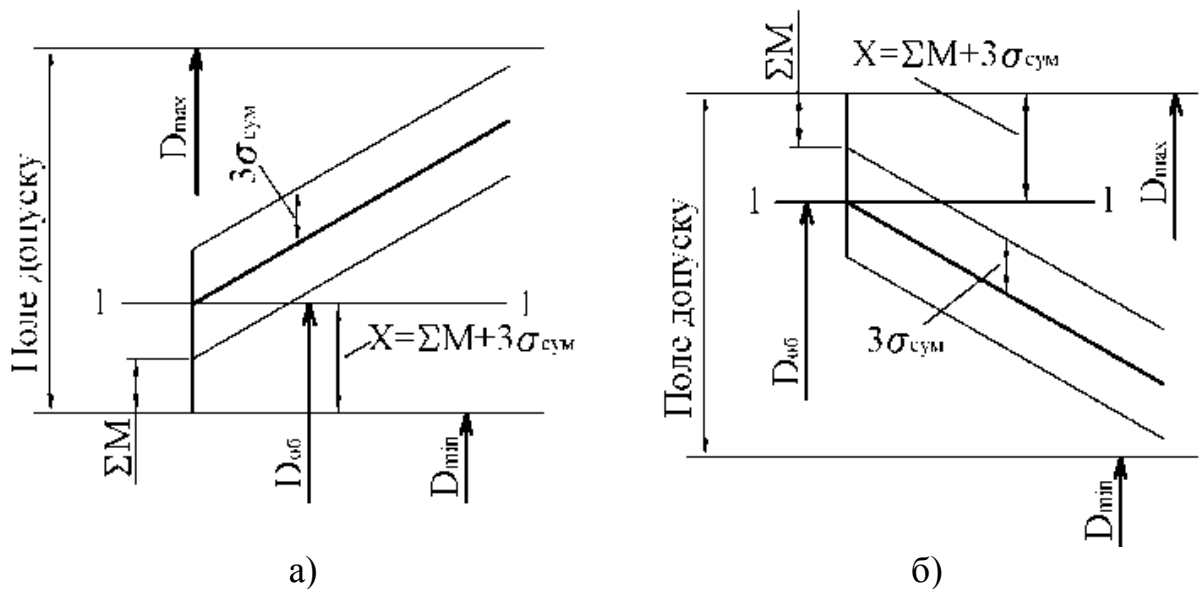


Рисунок 6.3 – Схема налагодження для контролю в процесі оброблення

Як видно з рисунка, у всіх випадках для усунення можливості виникнення браку налагоджувальний розмір повинен розміщуватися від відповідної межі поля допуску на віддалі

$$X = \Sigma M + 3\sigma_{\text{сум}}. \quad (6.9)$$

Для випадку, показаного на рисунку 6.3,а

$$\Sigma M = \delta_{\text{то}} + \delta_{\text{нал}} + \Delta_{\text{зх}}, \quad (6.10)$$

де $\delta_{\text{то}}$ – середня температурна похибка;

$\delta_{\text{нал}}$ – похибка налагодження;

$\Delta_{\text{зх}}$ – похибка зворотного ходу.

За «ідеального» налагодження вимірювального оснащення початкова похибка налагодження практично дорівнює нулю. У випадку налагодження за одним спрацюванням вона може складати 3σ (σ – середня квадратична похибка спрацювання).

6.5 Аналіз точності підналагоджувальних систем

У підналагоджувальних системах не компенсуються випадкові технологічні похибки на відміну від контролю у процесі оброблення, коли компенсуються як функціональні, так і випадкові похибки. У тих випадках, коли поле розсіювання випадкових похибок не вкладається у границі поля допуску на оброблення, застосування підналагоджувальників для такого рівня точності технологічних операцій є неможливим.

Окремі складові сумарної похибки підналагодження дозволяють висувати особливі вимоги як до самих вимірювальних приладів, так і до

точності всього технологічного процесу, включаючи верстат.

Незважаючи на багатоваріантність форм та схем підналагодження, структура похибок всіх підналагоджувальних систем приблизно однакова. Для виявлення цієї структури особливо ефективний метод «ковзної» середньої (рис. 6.4).

Основна перевага методу «ковзної» середньої полягає у тому, що він дозволяє враховувати динаміку процесів отримання розміру, а також розділяти функціональні та випадкові похибки, що особливо важливо для підналагоджувальних систем, так як вони компенсують тільки систематичні функціональні похибки і не усувають впливу випадкових. «Ковзна» середня є однією з характеристик випадкових функцій та випадкових процесів.

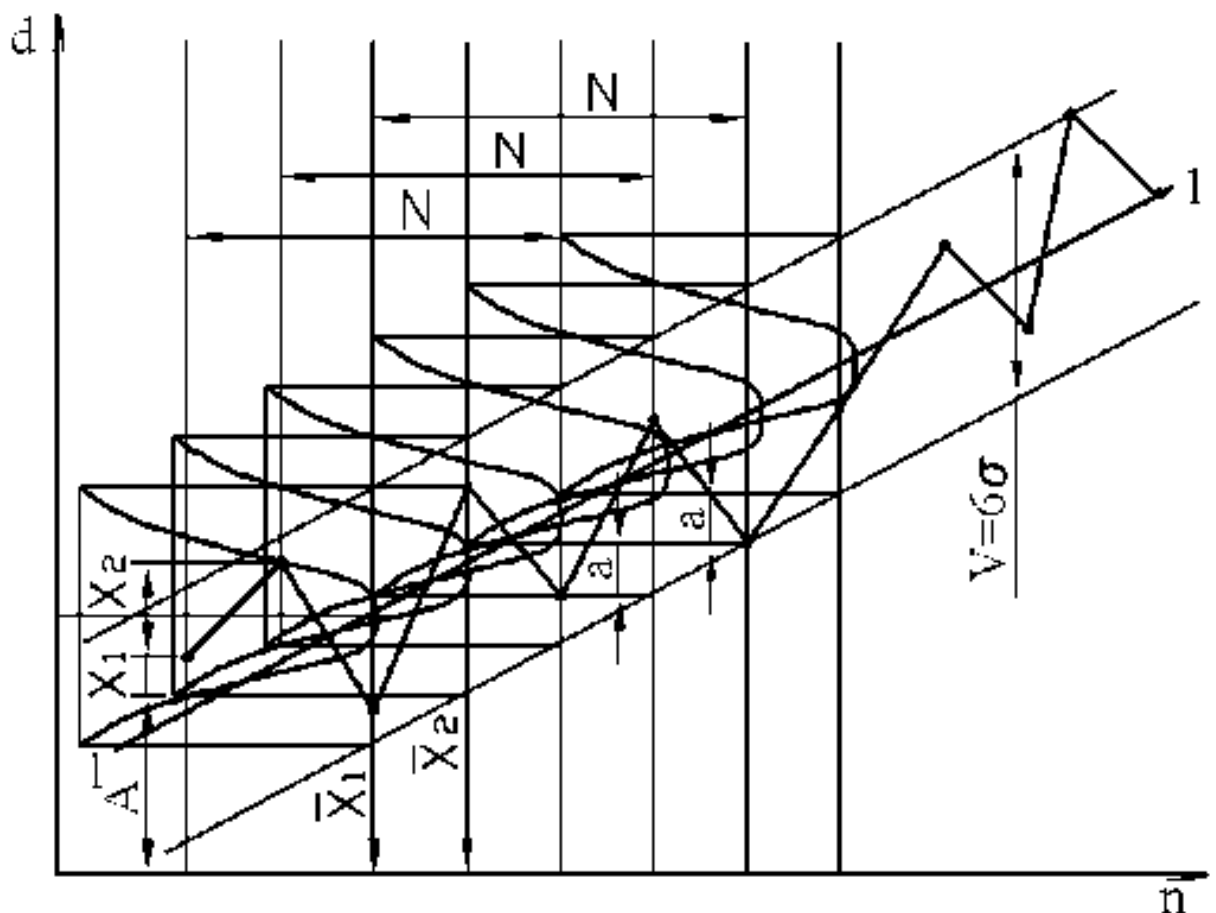


Рисунок 6.4 – Метод «ковзної» середньої

6.6 Підналагодження за однією деталлю

У підналагоджувальних системах, які працюють у дискретному режимі, найчастіше використовується принцип, що отримав назву: підналагодження за однією деталлю (рис. 6.5). На графіку (рис. 6.5, а) деталі розташовані у тій хронологічній послідовності, у якій обробляються на верстаті, що дає можливість використання методу «ковзної» середньої.

положення, за якого ймовірність підналагодження практично рівна одиниці. На рисунку 6.5,б показано диференціальну δ та інтегральну u криві розподілу центру групування в межах інтервалу B .

За великої кількості підналагоджувальних імпульсів, величина граничної похибки розмірів δ оцінюється як поле розсіювання розмірів деталей, оброблених на верстаті з використанням автоматичної підналагоджувальної системи, буде складати

$$\delta = A + 6\sigma + B. \quad (6.11)$$

Складові виразу (6.11) – це технологічні похибки, які не компенсуються підналагоджувальною системою. Отже, для підвищення точності підналагоджувальних систем необхідно насамперед зменшувати значення A , 6σ та B .

Контрольні питання

1. Як поділяються похибки розмірів?
2. Яка основна задача оброблення?
3. Яка основна задача оброблення?
4. Які похибки входять до опосередкованих систематичних похибок, якщо контроль ведеться в процесі оброблення?
5. Як здійснюється аналіз точності підналагоджувальних систем?
6. Як здійснюється підналагодження за однією деталлю?

ТЕМА 7 САМОНАЛАШТОВУВАЛЬНІ СИСТЕМИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ

План

- 7.1 Групи самоналагоджувальних систем.
- 7.2 Двоступеневі системи активного контролю.
- 7.3 Самоналагоджувальний прилад активного контролю з еталоном.
- 7.4 Комбіновані системи.

7.1 Групи самоналагоджувальних систем

Самоналагоджувальні системи призначені для забезпечення стабільного отримання розмірів деталей в досить тривалий проміжок часу за рахунок автоматичного підналагодження приладу активного контролю і компенсації тим самим його систематичної похибки.

За способом визначення рівня зміщення настройки самоналагоджувальні пристрої можуть бути розділені на три групи:

- 1) двоступеневі системи, що є синтезом приладу, що контролює деталь в процесі обробки, і підналагоджувальника;
- 2) системи, що здійснюють самоналаштування на заданий розмір за зразковою деталлю;
- 3) комбіновані системи.

7.2 Двоступеневі системи активного контролю

Двоступеневі системи активного контролю складаються з двох контурів регулювання (рис. 6.1).

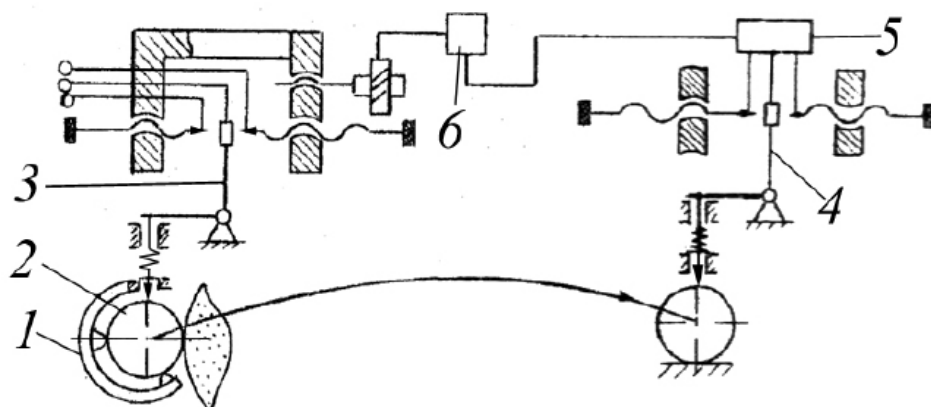


Рисунок 6.1 – Схема двоступеневої самоналаштувальної системи активного контролю

Один з них дозволяє забезпечити точність заданого розміру незалежно від відхилень, що викликаються випадковими похибками обробки, а другий контур коригує відхилення розмірів деталей, що викликаються

систематичними похибками, пов'язаними з робочим станом верстата і вимірювального приладу.

Шліфувана деталь контролюється в процесі шліфування з допомогою триконтактної скоби 1, забезпеченої електроконтактним датчиком 3. Внаслідок поступового зносу вимірювальних наконечників електричний контакт датчика, керуючий вимиканням верстата, замикається все раніше і розміри оброблених деталей поступово збільшуються. Для компенсації систематичних похибок передбачений другий вимірювальний пристрій.

Якщо розмір деталі 2 занадто великий або занадто малий, датчик 4 спрацьовує, завдяки чому за допомогою керуючого блоку 5 і електродвигуна 6 зміщують настройку електричних контактів датчика 3. Зміна настройки датчика 3 виконується або на певну частину допуску оброблюваної деталі, або пропорційна величині відхилень, виміряних пристроєм 4.

7.3 Самоналагоджувальний прилад активного контролю з еталоном

Самоналагоджувальний прилад активного контролю з еталоном, відноситься до другої групи самоналагоджувальних пристроїв (рис. 7.2).

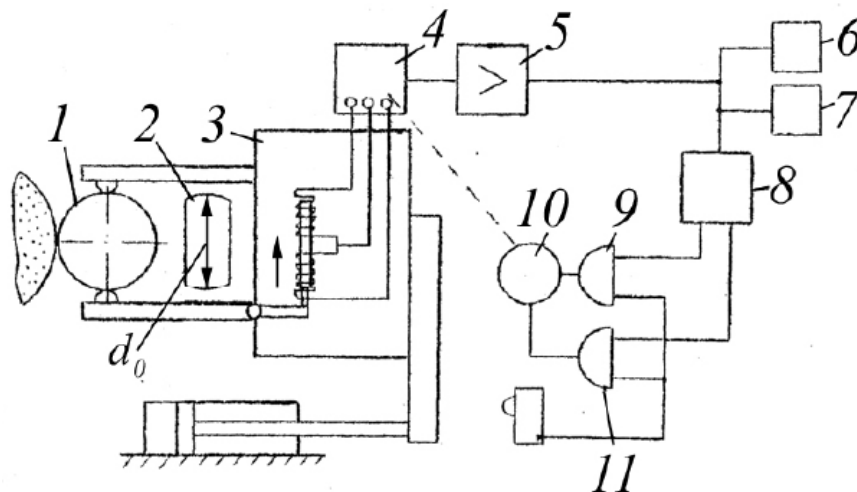


Рисунок 7.2 – Структурна схема самоналаштувальної комбінованої системи

Робота приладу відбувається наступним чином. Зафіксований приладом 3 розмір деталі 1 перетворюється в напругу за допомогою диференціального індуктивного датчика, включеного у мостову схему 4. Напруга у вимірювальній діагоналі моста підсилюється підсилювачем 5. Вихідна напруга після підсилювача відраховується як зміна розміру деталі 1 і подається на вимикачі 6 і 7 і трипозиційне реле 8 для управління верстатом. Деталь вважається готовою при напрузі розбалансу, що дорівнює нулю, і прилад активного контролю 3 відводиться назад за допомогою гідроциліндра. У задньому кінці приладу 3 обидва його вимірювальних наконечники стикаються з еталоном 2 розміром d_0 . При зносі наконечників і температурної похибки в цьому положенні порушується баланс моста, і на виході

підсилювача з'являється вихідна напруга, під дією якої спрацьовує реле 8, що керує через тригери 9 і 11 роботою двигуна 10. Останній автоматично врівноважує міст за допомогою змінного резистора, що стоїть в діагоналі моста. Процес врівноваження відбувається тільки під час зміни деталі. Тривалість процесу підналагодження не більше 3 с.

7.4 Комбіновані системи

Комбіновані системи як би об'єднують дві попередні групи. Вони, як правило, складаються з трьох вимірювальних блоків (рис. 7.3): перший блок розташований в зоні обробки і являє собою прилад активного контролю в процесі обробки, що дозволяє автоматично за результатами вимірювання деталей, що вийшли з зони обробки, компенсувати зсув настройки системи ВПД.

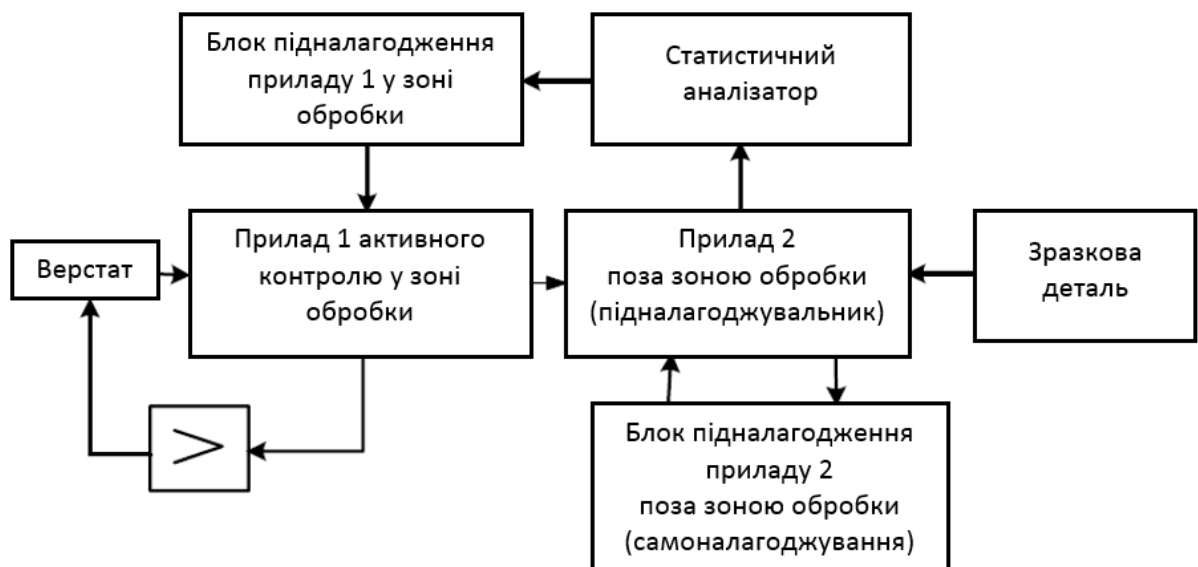


Рисунок 7.3 – Структурна схема самоналагоджувальної комбінованої системи

Другий блок виконує функцію приладу-підналагоджувальника, розташованого поза зоною обробки, який при необхідності автоматично підналагоджує прилад активного контролю першого блоку.

Третій блок виконує функцію самонастроювання приладу-підналагоджувальника (блок 2) за зразковою деталі.

Принципова схема комбінованої системи активного контролю розмірів представлена на рисунку 7.4.

Комбінована система складається з приладу 3 активного контролю, керуючого циклом роботи верстата за результатами вимірювання в процесі обробки, і приладу-підналагоджувальника 8, який автоматично за результатами вимірювання деталей, що вийшли з зони обробки, змінює налаштування приладу 3, тобто компенсує зміщення налаштування системи ВПД.

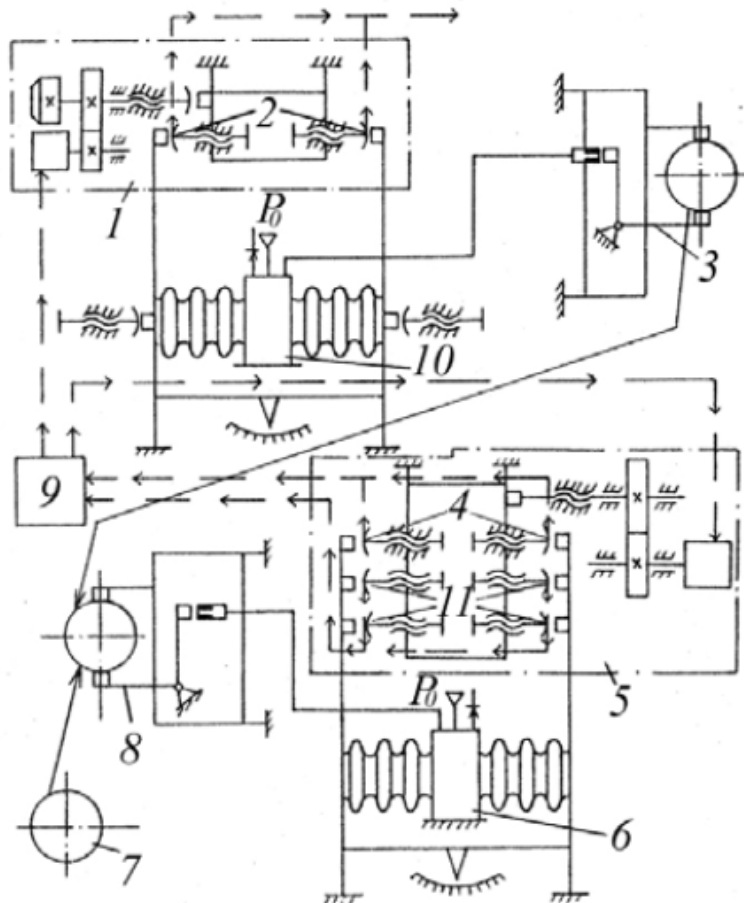


Рисунок 7.4 – Принципова схемакомбінованої самоналагоджувальної системи активного контролю

Прилад 3 активного контролю являє собою вимірювальну пневматичну скобу, яка контролює деталі безпосередньо в зоні обробки. При досягненні заданого розміру замикаються контакти 2 датчика 10 (двоконтактний) і подається сигнал на вимикач циклу обробки верстата.

Вимірювальний пристрій приладу 8 поза зоною обробки представляє собою вимірювальну гілку диференціального пневмоелектричного датчика 6 (шестиконтактного).

На вимірювальну позицію приладу 8 надходять вибірки деталей. Число деталей у вибірці зазвичай $N = 6$. Вибірki беруться безперервно протягом всього процесу обробки партії деталей.

За результатами вимірювання деталей на приладі 8 статистичний аналізатор 9 видає відповідну команду механізму підналагодження приладу 3.

Принцип дії аналізатора полягає в наступному. Усередині поля допустимих відхилень контрольованого параметра встановлюються зони допустимих значень відхилення розміру від заданого номіналу (рис. 7.5).

На виході вимірювального пристрою приладу 8 (див. рис. 7.4) формується інформація про величину відхилення розміру кожної деталі вибірки від заданого номіналу і про приналежність розміру до певної зони допустимих відхилень. Область можливих значень розміру деталі розділяють контактами датчика 6 на необхідне число зон (в даному випадку на 5).

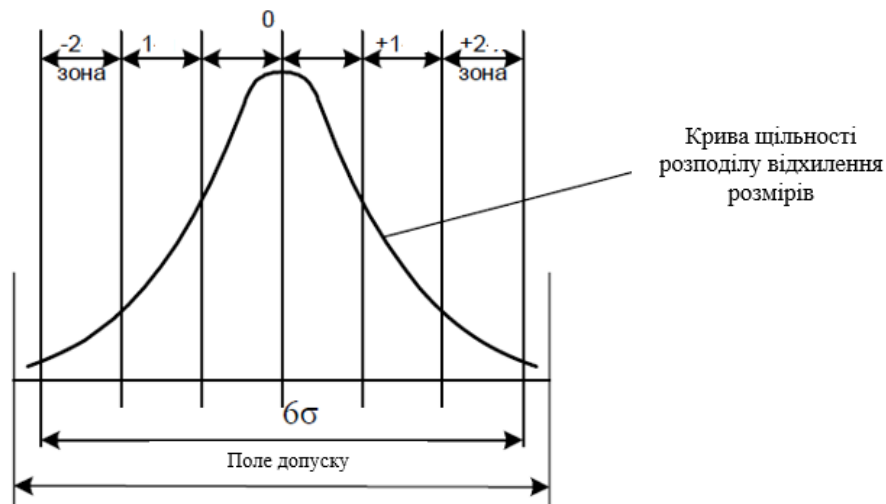


Рисунок 7.5 – Зони допустимих відхилень розміру від заданого номіналу

Інформація обробляється в статистичному аналізаторі 9 для отримання найбільш ймовірної оцінки області значень контрольованого параметра.

Залежно від оцінки на виході статистичного аналізатора 9 з'являється сигнал, який може мати один з 5 рівнів: 0, +1, +2, -1, -2. Під дією цього сигналу механізм регулювання 1 зміщує настройку на відповідну величину. Сигнал, що дорівнює 0, свідчить про те, що процес не потребує налаштування. Сигнали +1 і -1 викликають відповідно один імпульс регулювання. Сигнали +2 і -2 викликають відповідно два імпульси регулювання. Підналагодження здійснюється за ковзкою медіаною.

Виконання команди на підналагодження приладу активного контролю 3 здійснюється механізмом регулювання 1, який за допомогою механічної передачі зміщує контакт 2 датчика 10 на величину зміщення настройки приладу 3. Самоналаштування приладу 8 поза зоною обробки проводиться періодично по зразковою деталлю 7 через інтервали часу, що залежать від спостережуваних швидкостей зміщення настройки. Команда виконується спеціальним механізмом самоналаштування 5 приладу 8, який виконує самоналаштування до розмикання відповідних контактів 4 і 11 датчика 6.

Контрольні питання

1. В яких випадках використовуються самоналаштовувальні системи активного контролю?
2. Наведіть структурну схему комбінованої системи.
3. З якою метою у самоналагоджувальних системах використовується статистичний аналізатор?
4. Наведіть схему самоналагоджувальної системи з еталоном.

ТЕМА 8 ЛАЗЕРНІ СИСТЕМИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

План

- 8.1 Напрями застосування лазерних систем активного контролю.
- 8.2 Класифікація лазерних методів для лінійних вимірювань.
- 8.3 Лазерні системи з поздовжнім і поперечним наведеннями.

8.1 Напрями застосування лазерних систем активного контролю

На серійних токарних верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) супорт з інструментом позиціонується відповідно з командами програми, але механізм зворотного зв'язку за параметрами реального розмірного відхилення оброблюваної деталі відсутній. Висока точність обробки виробів в автоматичному режимі не може бути забезпечена тільки за рахунок підвищення точності позиціонування робочих органів верстата внаслідок впливу на точність зносу інструменту теплових і силових деформацій системи ВПД. Для забезпечення високої точності обробки на верстатах з ЧПК необхідною умовою є використання активного контролю розмірів деталей.

Токарна обробка характеризується низкою факторів, що істотно ускладнюють застосування традиційних засобів розмірного контролю, широко використовуваних при шліфувальних операціях. До таких факторів відносяться високі кутові швидкості оброблюваних деталей, значна шорсткість поверхні заготовок і деталей, наявність в зоні обробки стружки і мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), важкодоступність оброблюваних поверхонь, вібрації, складність розміщення вимірювальних пристроїв в зоні різання.

Специфіка токарного оброблення пред'являє жорсткі вимоги до вимірювальних перетворювачів системи активного контролю. Такі пристрої повинні характеризуватися такими даними: безконтактним способом вимірювання при значному робочому зазорі для забезпечення надійності перетворювача; лінійністю вихідної характеристики в діапазоні, що визначається припуском на обробку; постійною часу тривалістю не більше одного обороту деталі; незалежністю результатів розмірного контролю від зміни шорсткості поверхні деталі, її обертання, наявності вібрацій, впливу стружки і МОР; малогабаритністю, надійністю кріплення на верстаті за допомогою простого оснащення; роботоздатністю в умовах сучасного виробництва.

Застосування оптико-електронних і лазерних вимірювальних систем – один з основних перспективних напрямків в області автоматичного контролю лінійних розмірів фасонних деталей. Проаналізуємо існуючі лазерні методи вимірювання та перспективи розвитку лазерних приладів активного контролю при токарній обробці.

8.2 Класифікація лазерних методів для лінійних вимірювань

В даний час застосовують такі лазерні методи лінійних вимірювань.

1. Інтерференційні (інтерферометрія на одночастотних і двочастотних лазерах; активні лазерні інтерферометри; голографічні пристрої, в тому числі голографічні інтерферометри тощо).
2. Дифракційні (на основі дифракції Фраунгофера).
3. Геометрооптичні (за принципом триангуляції, сканування, екранування, проєкційні пристрої, фазові і імпульсні далекоміри, пристрої з формуванням зображення оптичної марки за принципом поперечного і поздовжнього фокусування).

Основна область застосування лазерної інтерферометрії, як було сказано вище, – координатно-вимірювальні машини, точне позиціонування. Голографічна інтерферометрія необхідна при вивченні топографії поверхонь, вимірюванні деформацій, переміщень і вібрацій без обмеження форми, якості поверхні і просторової орієнтації деталей. Доплерівська інтерферометрія, використовується в області безконтактного вимірювання швидкості переміщення і контролю шорсткості поверхні.

Активний контроль розмірів лазерними інтерферометрами на сучасному етапі виключається через необхідність використання якісних відбивачів і можливості вимірювання тільки в системі збільшень.

Практично прийнятний напрям голографічного активного контролю на сьогодні – фільтрація просторових частот.

Дифракційні методи вимірювання засновані на явищі дифракції Фраунгофера на щілині або на вузькому екрані. Дифракція – це явище, коли за діафрагмою, поставленої на шляху світлових променів, не виникає геометричної різкої тіні. При паралельному пучку світла (плоский фронт хвилі, джерело світла в ∞) говорять про дифракції Фраунгофера. Для сферичних хвиль кінцевої кривизни в розбіжних променях або променях, які сходяться має місце дифракція Френеля. Безконтактні лазерні прилади на основі дифракції Фраунгофера використовуються для вимірювання зазорів і діаметра рухомих або нерухомих виробів малого перерізу (прутки, дріт, нитки). Для активного контролю розмірів при токарній обробці ці методи не можна використовувати.

Безконтактні геометрооптичні методи вимірювання, засновані на законах геометричної оптики, застосовують в сучасних системах активного контролю для металорізальних верстатів. Такі пристрої можна розділити на дві групи, що розрізняються принципом дії, – з поздовжнім і поперечним наведеннями.

8.3 Лазерні системи з поздовжнім і поперечним наведеннями

До групи з поздовжнім наведенням відносяться лазерні вимірювальні системи, що працюють за принципом променевої скоби, налаштованої на номінальний розмір контрольованої деталі, і виробляють керуючий сигнал при

досягненні в процесі виготовлення деталі заданого розміру.

В Японії розроблена лазерна установка для вимірювання діаметра циліндричних деталей при обробці на токарних верстатах (рис. 8.1).

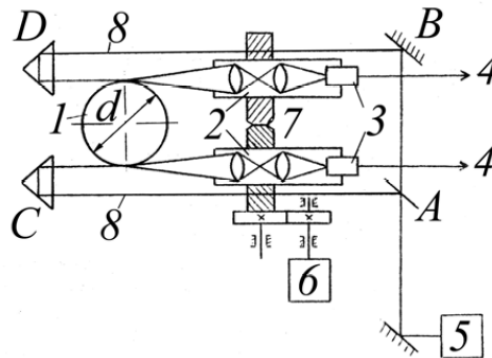


Рисунок 8.1 – Лазерна установка для контролю діаметра деталей на токарних верстатах

Випромінювання лазера 5, пройшовши систему дзеркал і призм ABCD, направляється на оброблювану деталь 1. Частина світлового потоку, яка пройшла по дотичній до поверхні контрольованої деталі, відхиляється під кутом до основного потоку 8 і оптичними системами 2 направляється на фотоприймачі 3, вихідний сигнал 4 яких відповідає розмірному відхиленню діаметра виробу d . Система контролює діаметр деталі в різних перерізах.

Налаштування на номінальне значення розміру здійснюється диференціальним гвинтом 7 за допомогою мікродвигуна 6. Межа вимірювання 0 ... 200 мм, похибка системи ± 10 мкм.

Недоліки системи: неможливість застосовувати при різанні з МОР і відносно висока вартість.

У Швеції розроблена наступна адаптивна лазерна система активного контролю до токарних і шліфувальних верстатів (рис. 8.2).

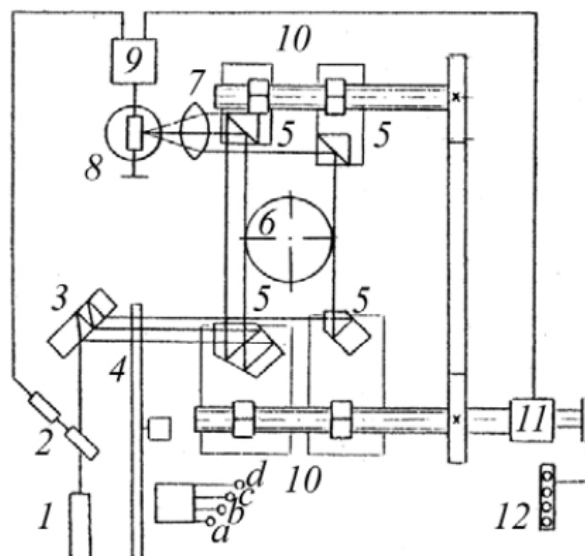


Рисунок 8.2 – Лазерна вимірювальна система зі скануючою променевою скобою

Розміри деталі контролюються двома пульсуючими лазерними пучками, які як би утворюють променеву скобу. Випромінювання лазера 1 проходить електрооптичний дефлектор 2, перетворюється світлоділдьником 3 в три паралельні пучка, які, в свою чергу, проходять переривник 4 у вигляді диска, що обертається з отворами і стають пульсуючими. Два пучка направляються системою призм 5 так, що проходять по дотичних в двох протилежних точках перерізу циліндричної деталі 6, яка обточується, а третій проходить поза скобою, утвореною двома першими, і є опорним. При відхиленні діаметра від номінального значення фотоприймач 8 за допомогою конденсатора 7 реєструє зміну оптичного сигналу протягом півоберту деталі. Вихідні сигнали фотоприймача надходять на вхід електронного вимірювального і керуючого пристрою 9. Оптична скоба налаштовується на номінальний розмір диференціальними гвинтами 10 за допомогою 11. Індикація величини розмірних відхилень проводиться на цифровому табло 12 через що задаючі канали a, b, c, d .

Істотні недоліки пристроїв, що працюють за принципом променевої скоби – громіздкість вимірювальної системи, що не дозволяє встановити вимірювальний перетворювач безпосередньо в зоні різання; запізнювання вимірювальної інформації і вплив на точність вимірювання стружки і МОР. Тому такі системи застосовують для міжопераційного технологічного контролю.

Інша група безконтактних лазерних систем активного контролю для токарних верстатів з ЧПК побудована на основі вимірювальних перетворювачів, що діють за принципом оптичних приладів поперечного наведення (приклад таких приладів – подвійний мікроскоп Лінника і його фотоелектричні аналоги). В даний час розроблені вимірювальні пристрої, призначені для контролю зносу і теплових деформацій ріжучого інструменту, і прилади активного контролю розмірів оброблюваної деталі.

Розглянемо лазерний ПАК, що діє за принципом поперечного наведення (рис. 8.3), який був розроблений в Японії.

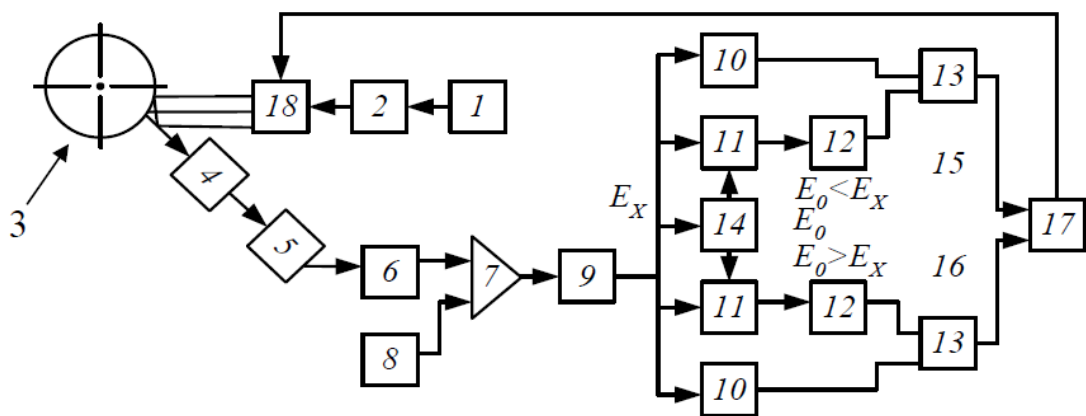


Рисунок 8.3 – Функціональна схема лазерного приладу активного контролю, що діє за принципом поперечного наведення

Випромінювання гелій-неонового лазера 1 направляється до поверхні контрольованої деталі 3 з боку різця через оптичну систему 2. Відбитий світловий потік сприймається оптичною системою 4 вимірювального пристрою і направляється на фотоприймач 5, виконаний з фоторезисторів, включених за мостовою схемою, причому два з них утворюють диференційний фотодетектор, а два інших використовуються для температурної компенсації. Вимірювальний перетворювач встановлюють на верстаті з боку різучого інструменту. Кут між зондующею і вимірювальною гілками становить 8° .

Наступні блоки системи активного контролю призначені для аналогового і аналого-цифрового перетворення вимірювальної інформації (рис. 8.4).

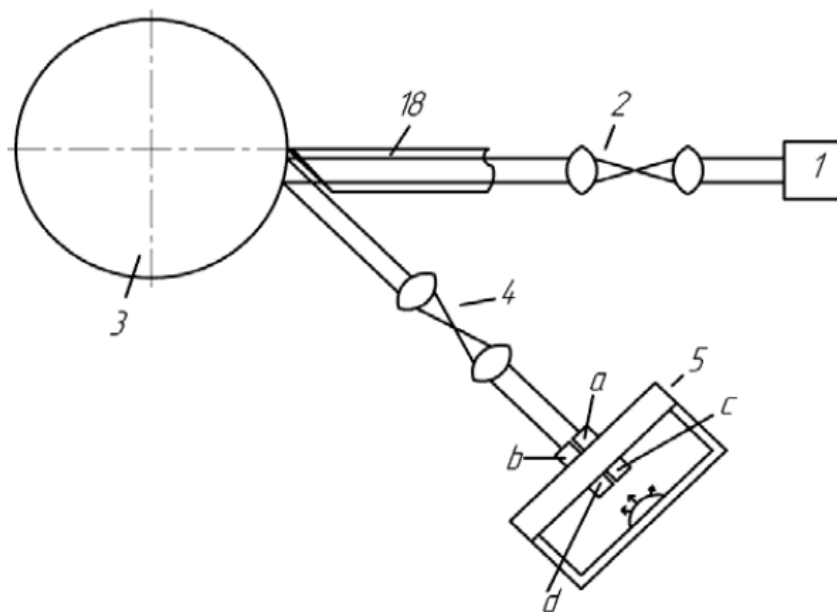


Рисунок 8.4 – Лазерний вимірювальний перетворювач для контролю зносу і теплових деформацій різця

Сигнал з мостової схеми фотоприймача 5 через фільтр 6 надходить на суматор 7, на який також подається сигнал схеми компенсації 8, що враховує нестабільності характеристик відображення контрольованих деталей. Вихідний сигнал суматора подається на вхід 2-канального аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 9, що формує імпульси корекції поперечної подачі різучого інструменту. Кожен з каналів АЦП містить схему блокування 10, компаратор 11, формувач 12 і генератор імпульсів 13; крім того, є спільне джерело опорної напруги 14. Залежно від знака різниці опорної напруги E_0 і напруги на виході E_x від одного з генераторів 13 в систему ЧПК 17 надходять імпульси корекції подачі інструменту «назад» 15 і «вперед» 16.

При цьому система ЧПК верстата забезпечує корекцію поперечної подачі супорта з різцетримачем 18 з урахуванням знака і величини відхилення розміру контрольованої деталі.

Недолік систем, що працюють за принципом поперечного наведення, – запізнювання вимірювальної інформації і вплив на точність контролю, крім

силових і теплових деформацій деталі, зміни кривизни її поверхні, що особливо проявляється при обробці ступінчастих і фасонних деталей. Використання таких систем для автоматичного контролю розмірів показало позитивні результати при контролі гладких жорстких валів і відсутності підвищених вимог по швидкодії.

Контрольні питання

1. Перерахуйте існуючі методи вимірювання лінійних розмірів за допомогою лазерних систем.
2. У чому відмінність лазерних систем з «поздовжнього наведення» і «поперечного наведення»?
3. Які методи застосовуються для температурної компенсації лазерних систем?
4. Які недоліки існують в лазерної вимірювальної системи, що працює за принципом «променевої скоби»?

ТЕМА 9 СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТУВАННЯ В ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

План

9.1 Структура і принципи функціонування систем контролю та діагностування.

9.2 Принципи, методи і засоби контролю ріжучого інструменту, заготовок і деталей.

9.1 Структура і принципи функціонування систем контролю та діагностування

Система автоматичного контролю відноситься до найважливішої підсистеми гнучких виробничих систем (ГВС), що забезпечує: 1) необхідну якість продукції шляхом своєчасного подання інформації про параметри заготовок, інструменту та оснастки; 2) підтримання в роботоздатному стані автоматичних комплексів шляхом діагностування технічних засобів (верстатів з ЧПК, промислових роботів, транспортно-накопичувальної системи, обчислювальної техніки і програмного забезпечення). Система автоматичного контролю – необхідний елемент безлюдної технології, який дозволяє добиватися максимальної ефективності ГВС.

За впливом на об'єкт контроль може бути прямий і непрямий, активний і пасивний. До перспективних слід віднести методи активного контролю в зоні обробки, що дозволяють виключити появу браку з допомогою своєчасного введення коригувальних впливів.

Алгоритм контролю будь-якого параметра включає наступні етапи: сприйняття, ідентифікація (розпізнавання), вимірювання (порівняння з мірою), порівняння з нормою, прийняття рішення.

У типовій структурі системи автоматичного контролю стосовно ГВС можна виділити три рівні (рис. 9.1).

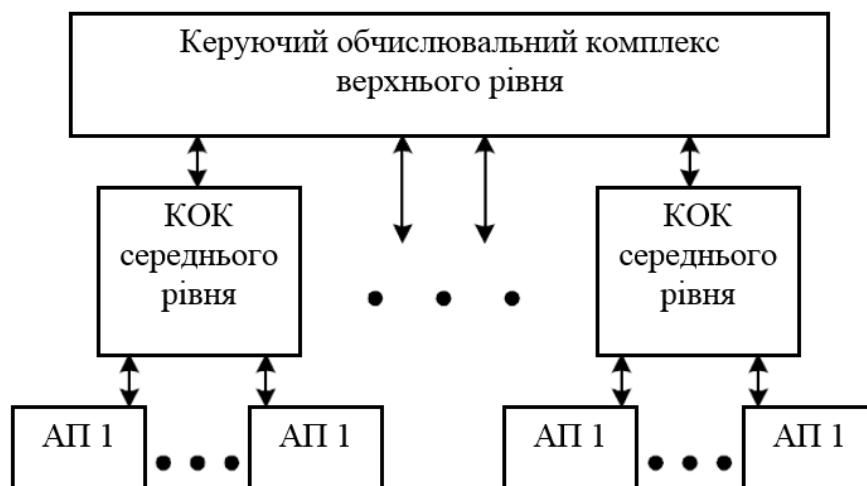


Рисунок 9.1 – Типова структура автоматичного контролю в ГВС

Верхній рівень забезпечує загальний контроль роботи сукупності гнучкого виробничого модуля (ГВМ) для координації взаємодії автоматичних пристроїв (АП) з видачею необхідної інформації на пульт управління. Керуючий обчислювальний комплекс (КОК) верхнього рівня обробляє і узагальнює інформацію з нижчого рівня, контролює якість матеріалів, інструменту та продукції, здійснює самоконтроль.

КОК середнього рівня здійснює контроль за роботою ГВМ з набором АП і подає на верхній рівень узагальнюючу інформацію про властивості, технічний стан об'єктів і складових частин модуля, включаючи параметри технологічного середовища.

До складу КОК входять міні-або мікро-ЕОМ, засоби сполучення з віддаленими терміналами та локальною мережею ЕОМ.

На нижньому рівні виконується контроль предметів обробки (ПрОб) і технологічного стану елементів АП з поданням інформації в систему технічного обслуговування для прогнозування поступових відмов інструментів і обладнання (рис. 9.2).

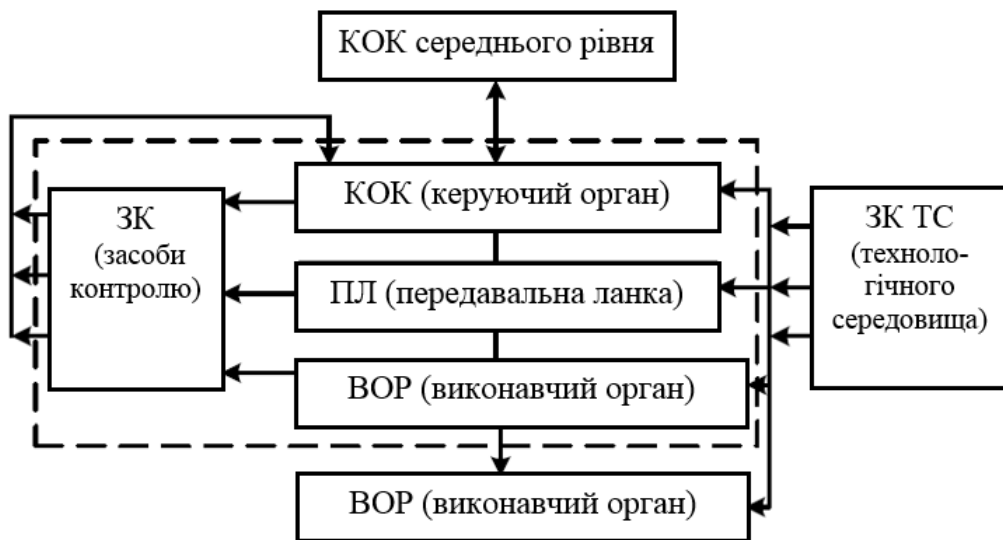


Рисунок 9.2 – Системи контролю нижнього рівня

Елементи АП – керуючий орган, передавальна ланка, виконавчий орган – є об'єктами контролю. Засоби контролю визначаються специфікою компонентів ГВМ і містять різні датчики (торкання, зусилля, позиціонування), пристрої сполучення з датчиками і виконавчими механізмами.

Процес вимірювання параметрів контрольованого об'єкта може бути рознесений в просторі і в часі, наприклад, одна частина параметрів вимірюється в зоні обробки, інша – поза робочою зоною.

До основних принципів поопераційного контролю відносяться: принцип недовіри (повторного огляду), коли всі параметри контролюються на вході наступної операції; принцип уточнення, коли на вході контролюється частина, що визначає якість параметрів; принцип довіри, коли контроль параметрів на вході наступної операції виключається. Для систем рівня ГВС найбільш

прийнятний контроль за принципом довіри з одночасною оптимізацією кількості контрольних операцій в цілому.

Найважливіше завдання експлуатаційного контролю – підтримання роботоздатного стану об'єктів ГВС шляхом своєчасного розпізнавання відмов і усунення причин їх появи з метою попередження аварійних ситуацій, які можуть спричинити за собою тяжкі наслідки. Зазначена задача відноситься до області технічного діагностування. Процедура діагностування об'єкта включає два етапи: перевірку його роботоздатності і пошук дефекту.

За характером взаємодії об'єкта і технічних засобів можна виділити методи функціонального та тестового діагностування.

Метод функціонального діагностування заснований на спостереженні за функціонуванням об'єкта (коли на нього надходять тільки робочі впливи) і оцінці його стану за діагностичними показниками. В якості ознак при функціональному діагностуванні можуть бути використані: рівень шумів або вібрації, величина споживаної енергії, час виконання окремих циклів тощо.

Метод тестового діагностування передбачає формування спеціального впливу, який стимулює у об'єкта реакції, порівнювані з еталонними. Роль стимулюючого впливу виконують ступінчасті, гармонійні або більш складні сигнали.

В якості діагностичних показників можуть бути використані параметри динамічних ланок, коефіцієнти рівнянь, узагальнені параметри. При контролі за характеристиками об'єкта використовуються статичні (наприклад статична похибка системи) і динамічні характеристики (тимчасові або частотні). При ідентифікації об'єкта методом інформаційних автоколивань зазвичай використовуються наступні параметри коливань: амплітуда, частота, форма сигналу. Типовий алгоритм системи підтримки роботоздатності об'єкта включає декілька етапів: збір інформації, оцінку інформації та виявлення відхилення від норми, визначення причини відхилення, прийняття рішення і вироблення коригуючого впливу, введення коригуючого впливу з метою ліквідації виявлених відхилень.

9.2 Принципи, методи і засоби контролю ріжучого інструменту, заготовок і деталей

Ріжучий інструмент – один з основних елементів, що визначають роботоздатність верстатів і обробних центрів, а також якість виробів, які обробляються. Відмови ріжучого інструменту складають 20 – 60% від загального числа порушень роботи верстатів з ЧПК. До основних видів порушень роботоздатності різального інструменту відносять: зношення, викришування, поломки або окопування.

Найбільш простим з відомих і широко застосовуваних методів контролю стану інструменту в процесі різання є метод безперервного або через короткі проміжки часу (для кожної деталі) вимірювання поточних параметрів приводних електродвигунів. Блок-схема алгоритму автоматичного контролю

параметрів приводних електродвигунів може бути представлена спеціальним чином (рис. 9.3).

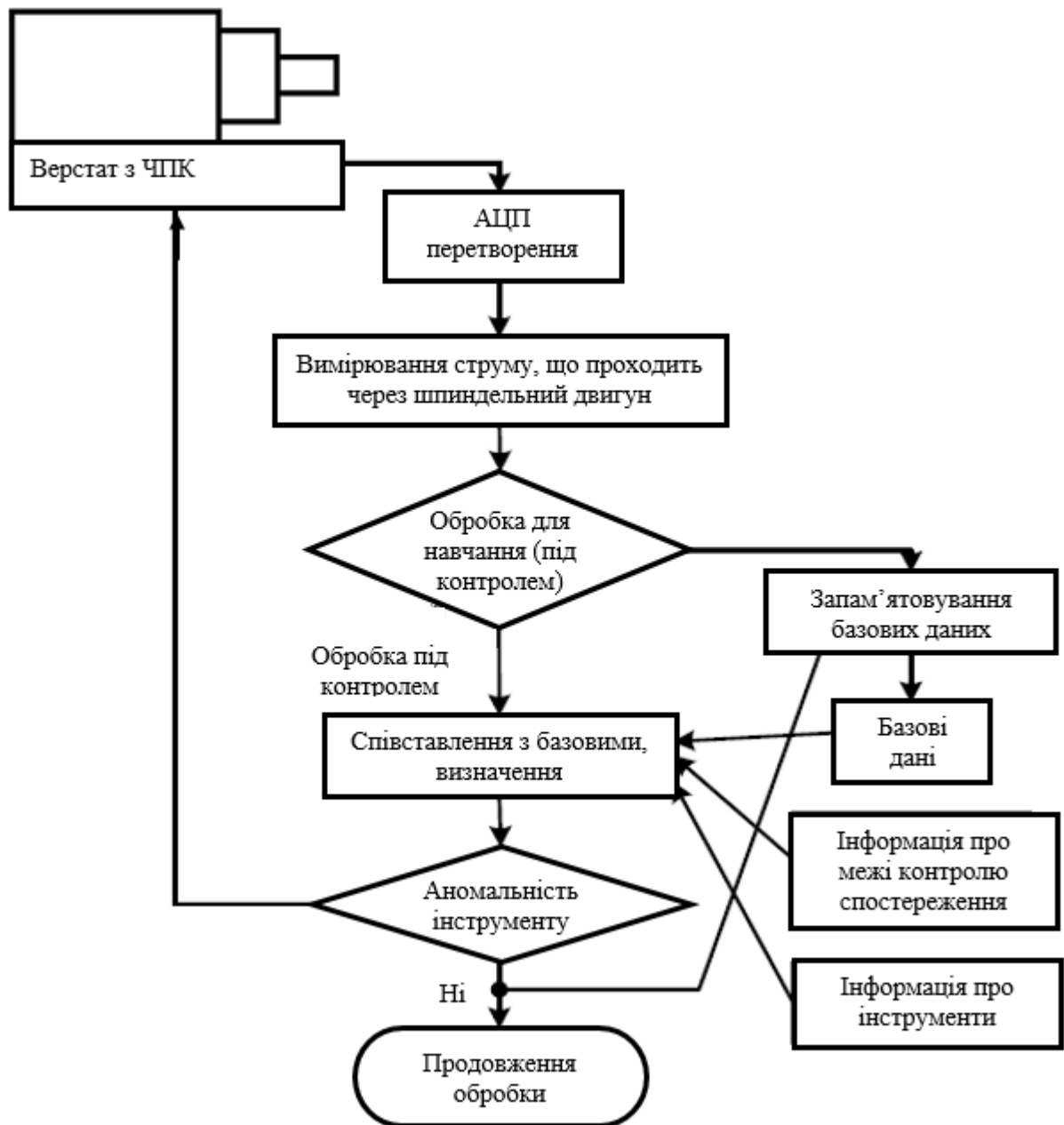


Рисунок 9.3 – Блок схема алгоритму автоматичного контролю параметрів приводних електродвигунів

Вимірювальні перетворювачі, що встановлюються зазвичай на електродвигунах, реєструють зміна струму навантаження і через АЦП передають інформацію для обробки в мікроЕОМ. Інформативність даного методу багато в чому залежить від повноти і точності статистичних даних про залежності поточних параметрів приводних електродвигунів для різних режимів різання всіх застосовуваних інструментів з урахуванням особливостей комплексних деталей для груп, які можуть оброблятися на даному конкретному верстаті.

Схема контролю поломки ріжучого інструменту акустичним методом представлена на рисунку 9.4.

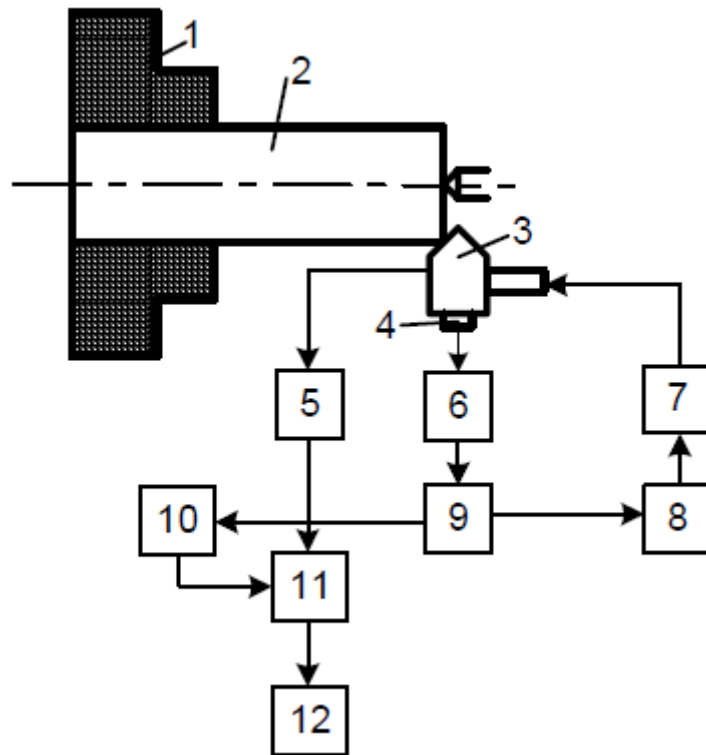


Рисунок 9.4 – Схема контролю поломки ріжучого інструменту:

1 – патрон; 2 – оброблювана деталь; 3 – датчик прискорень; 4 – акустичний датчик; 5 – підсилювач; 6 – попередній підсилювач; 7 – регулятор величини подачі; 8 – блок управління; 9 – демодулятор; 10 – підсилювач; 11 – пристрій обробки даних; 12 – пристрій реєстрації даних

За допомогою магніту до кінця хвостовика інструменту прикріплюється акустичний датчик з номінальною власною частотою 0,5 МГц. Одержуваний акустичний сигнал підсилюється з'єднаними послідовно попередніми і основним підсилювачами. Смуга частот фільтрується за допомогою встановлених у підсилювачах смугових фільтрів. Для верхніх частот обрана смуга пропускання 100 кГц, щоб придавити низькочастотні шуми від різних звуків і вібрацій, а для низькочастотного фільтра смуга пропускання становить 1 кГц, що виключає електричні шуми. На різцетримачі поблизу ріжучої кромки встановлюється також датчик прискорень, сигнал від якого вимірюється для порівняння в напрямку швидкості різання. Рівень сигналу прискорення має прямопропорційну залежність від режимів різання, а рівень акустичного сигналу (при тих же режимах) має більше розсіювання, але в той же час більш сувору залежність від стану ріжучого інструменту. Між звуком, що генерується ріжучим інструментом, і станом його ріжучої кромки існує певне співвідношення, тобто характер звуку залежить від ступеня зношення інструменту. Зі зношенням інструменту зростає інтенсивність коливань у низькочастотній і високочастотній областях спектра. Гостре ріжуче лезо

генерує в основному енергію високих частот.

Для багато інструментальних верстатів і обробних центрів найбільш перспективним для контролю процесу механічної обробки є використання сучасних засобів технічного зору. Контроль розмірів деталей, як правило, виконують до обробки, після закінчення процесу різання, а іноді між переходами, часто в такі контрольні паузи включають і контроль інструменту. Такий контроль ріжучого інструменту веде до збільшення повного циклу обробки, проте при цьому можна засоби підсистеми контролю розміщувати так, щоб на них не впливали шкідливі фактори процесу механічної обробки.

Найбільш поширені засоби прямого контролю з мікронною точністю заготовок, деталей та інструменту поза процесом обробки – датчики торкання. Приклад конструкції датчика торкання (патент 628137, Швейцарія) наведено на рисунку 9.5.

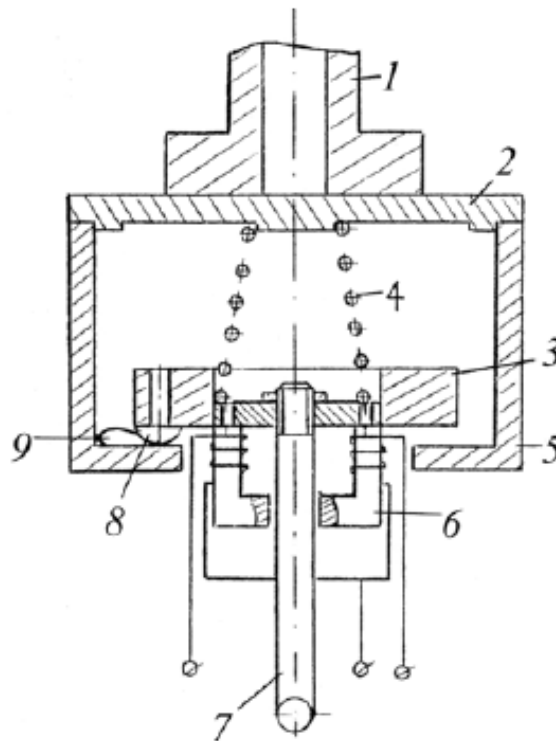


Рисунок 9.5 – Датчик торкання: 1 – рухома частина верстата; 2 – основа; 3 – пластина; 4 – пружина; 5 – корпус датчика; 6 – електромагніт; 7 – щуп; 8 – шарнір; 9 – опора

У корпусі датчика на трьох напівсферичних опорах знаходиться підпружинена пластина, що має шість ступенів вільності, в яку вставлений щуп. Електромагнітом, через який проходить щуп, створюється змінне магнітне поле, що викликає коливання щупа; ці коливання порушуються в момент торкання щупом об'єкта вимірювання, що реєструється вимірювальним перетворювачем.

Блок-схема підсистеми вимірювання розмірів деталі та інструменту з використанням датчиків торкання на токарно-револьверному верстаті з ЧПК представлена на рисунку 9.6.

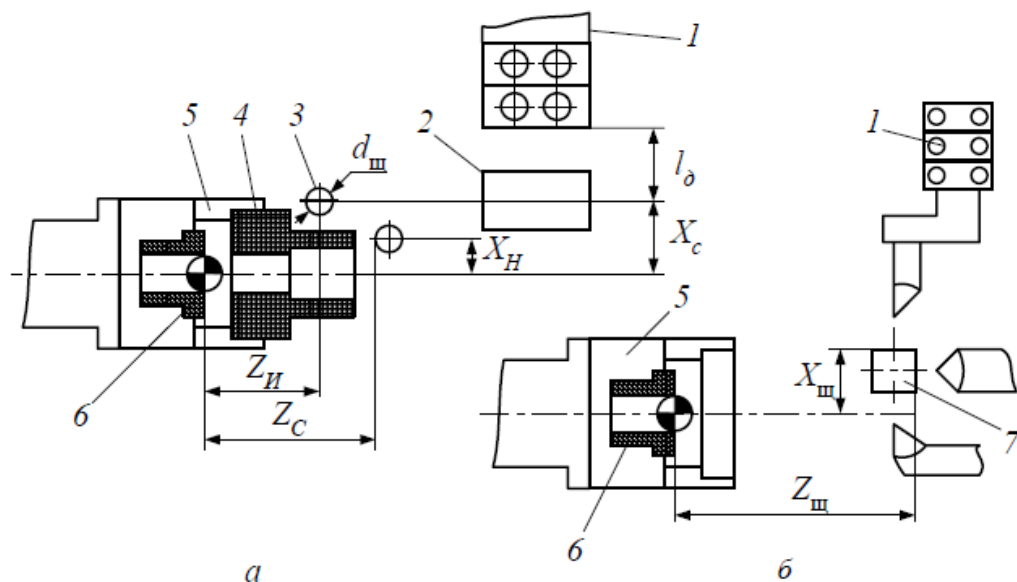


Рисунок 9.6 – Блок-схема вимірювання розмірів деталі та інструменту датчиком торкання: вимірювання деталі (а); вимірювання інструменту (б):

1 – револьверна головка; 2 – датчик деталі (ДД); 3 – щуп ДД; 4 – вимірювана деталь; 5 – патрон; 6 – базова втулка; 7 – наконечник щупа датчика інструменту (ДІ); l_d , X_c , $Z_{ш}$ – координати щупа датчика торкання при вимірюванні діаметрів деталі; X_H , Z_c – координати щупа датчика поверхні при вимірюванні торцевих деталей; $d_{ш}$ – діаметр щупа датчика торкання

На верстаті встановлені два датчики торкання, що входять до вимірювального комплексу БВ-4271. Датчик деталі призначений для вимірювання деталі, займає одну з позицій револьверної головки (РГ) та зв'язаний з електронним блоком оптикоелектричним зв'язком. Залежно від особливостей конфігурації вимірюваної деталі ДД оснащується щупом з наконечником у формі кульки або диска.

Датчик для вимірювання інструментів ДІ встановлений на шпиндельній бабці, на відкидному кронштейні, що має два фіксованих положення. При відсутності деталі в патроні ДІ можна опустити у вимірювальну позицію. При цьому його вимірювальний наконечник ДІ розташовується поблизу торця патрона і до його плоских граней можна підвести будь-який з інструментів, розміщених у РГ, в тому числі і ДД. На час обробки ДІ відводиться за межі робочої зони. Сполучення датчиків торкання з ЧПК забезпечується спеціальною інтерфейсною платою, яка містить програмно-доступні лічильники переміщення (по одному на координату). На вхід кожного лічильника при русі супорта надходять імпульси від датчика зворотного зв'язку відповідної координати. Рахунок імпульсів запускається спеціальною командою від програми і припиняється при надходженні сигналу від датчика торкання. Число, що залишився при цьому в лічильнику, являє собою величину переміщення за відповідною координатою (в дискретах) від моменту запуску до моменту надходження сигналу від датчика при зіткненні його щупа з поверхнею деталі або інструменту.

Перед початком вимірювання щуп ДД позиціонується за програмою в «точці старту», координата якої X_c обчислена таким чином, щоб переміщення щупа до контакту з поверхнею деталі при її номінальному (програмному) положенні склало величину l_n . У цьому положенні програма встановлює режим «вимірювання», тобто запускає лічильник переміщення.

З точки старту щупа задається переміщення на вимірювальній швидкості в напрямку до вимірюваної поверхні на величину $2l_n$. Якщо фактична координата поверхні відрізняється від номінальної не більше, ніж на $\pm l_n$, то в межах ходу відбувається наїзд щупа на поверхню. При цьому припиняється відлік переміщення і в лічильнику залишається величина l_k фактичного переміщення до точки дотику.

Незалежно від того, чи відбулася зустріч щупа датчика з вимірюваною поверхнею, рух щупа відбувається на всю величину $2l_n$. Потім щуп відводиться в точку старту, де зчитується вміст лічильника l_k і обчислюється відхилення l фактичного положення поверхні від програмного $l = l_n - |l_k|$.

Це відхилення вважається позитивним, коли поверхня зміщена «назустріч» щупу датчика. Такий алгоритм застосовується при всіх видах вимірювань.

Величина l , отримана при вимірюванні, характеризує стан відносно нулів програми однієї точки поверхні. Цієї інформації було б достатньо для визначення розмірів деталі діаметра циліндричної поверхні або координати торця відносно базового торця, якби технологічні бази зберігали незмінне положення відносно нулів програми. Практично внаслідок теплових деформацій верстата технологічні бази – вісь шпинделя і опорний торець – постійно зміщуються відносно нулів програми. Величина цих зміщень ΔX_0 і ΔZ_0 враховується у вимірювальних підпрограмах при обчисленні координати точки старту. Вимірювання ΔX_0 і ΔZ_0 організовано у спеціальній прив'язочній підпрограмі. Для цього вимірювання в патроні верстата встановлена спеціальна базова втулка, отвір і торець якої мають мінімальне биття відносно осі шпинделя, а діаметр отвору точно атестований.

Контрольні питання

1. Наведіть типову структуру автоматичного контролю в ГВС.
2. Який алгоритм контролю використовується в ГВС для вимірювання будь-якого параметра?
3. Що таке «метод функціонального діагностування»?
4. Для чого використовується датчик дотику у верстатах з ЧПК?
5. Наведіть схему контролю поломки ріжучого інструменту.

ТЕМА 10 КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ МАШИНИ ТА БАГАТОМІРНІ ПРИСТРОЇ

План

10.1 Координатно-вимірювальні машини (КВМ).

10.2 Контроль похибок переміщень робочих органів вимірювальних машин.

10.3 Багатомірні пристрої та прилади.

10.1 Координатно-вимірювальні машини (КВМ)

КВМ широко застосовуються для контролю виробів складної конфігурації, для вимірювання великої кількості параметрів, для великогабаритних деталей. Зважаючи на високу вартість КВМ, ефективне їх використання можна досягнути у вимірюванні масивних деталей складної просторової форми: пресформ, блоків циліндрів двигунів внутрішнього згоряння, коробок передач, штампів тощо.

Схеми і конструкції КВМ досить різноманітні. Розрізняють двох- і трьохкоординатні машини.

Деталь встановлюється на стіл КВМ, який може бути нерухомим або переміщуватись відносно вимірювального перетворювача. Вимірювальні каретки переміщуються у спеціальних напрямних по двох (трьох) координатах.

У якості вимірювальних перетворювачів використовуються індуктосини, фотоелектричні, оптичні перетворювачі.

Більшість КВМ оснащені спеціальними контактними багатоточковими вимірювальними перетворювачами, які дозволяють виконувати замір у всіх напрямках. Створені і безконтактні оптоелектронні КВМ. У них параметри об'єкту контролю сприймаються відеокамерою і перетворюються у цифровий інформаційний сигнал.

Напрявні КВМ виконуються з граніту або діабазу, так як ці матеріали мають хороші антикорозійні властивості, невелику питому вагу, малий коефіцієнт теплового розширення. Для полегшення переміщення кареток, зменшення коефіцієнту тертя, використовують аеростатичні напрямні, або прецезійні кулькові підшипники.

До комплекту КВМ може входити ряд пристроїв, які дозволяють вирішувати великий комплекс задач: поворотні столи для кутових вимірювань; багатоточкові вимірювальні щупи; орієнтуючі головки; мікроскопи; проектори; пристрої для закріплення деталей; комп'ютерна техніка; програмне забезпечення.

КВМ розвиваються у напрямку створення інформаційно-вимірювальних систем з частковою або повною автоматизацією, з обробленням результатів вимірювання з установкою деталей без їх просторової орієнтації і для

вимірювань у динамічному режимі.

Основні виробники КВМ:

«Оліветті» (Італія) – Міді 130В, Максі 600В;

ДЕА (Італія) – «Омікрон», «Йота», «Епсілон», «Дельта»;

«Тейлор Хобсон» (Англія) – «Толічек2»;

«Бендікс» (США) – 36Б, 76Б.

10.2 Контроль похибок переміщень робочих органів вимірювальних машин

У машинобудуванні і приладобудуванні для контролю розмірів і параметрів форми виробів широке застосування знаходять координатно-вимірювальні машини (КВМ), які забезпечують високу точність і достовірність результатів вимірювання. Використання принципів оперативного і діалогового програмування дає можливість застосування КВМ як універсального засобу контролю в одиничному і дрібносерійному виробництвах.

В КВМ використовується координатний метод вимірювання, який зводиться до послідовного знаходження координат точок виробу та подальшого розрахунку розмірів, відхилень розмірів, форми і розташування у відповідних системах координат. Спрощена функціональна схема КВМ представлена на рисунку 10.1.

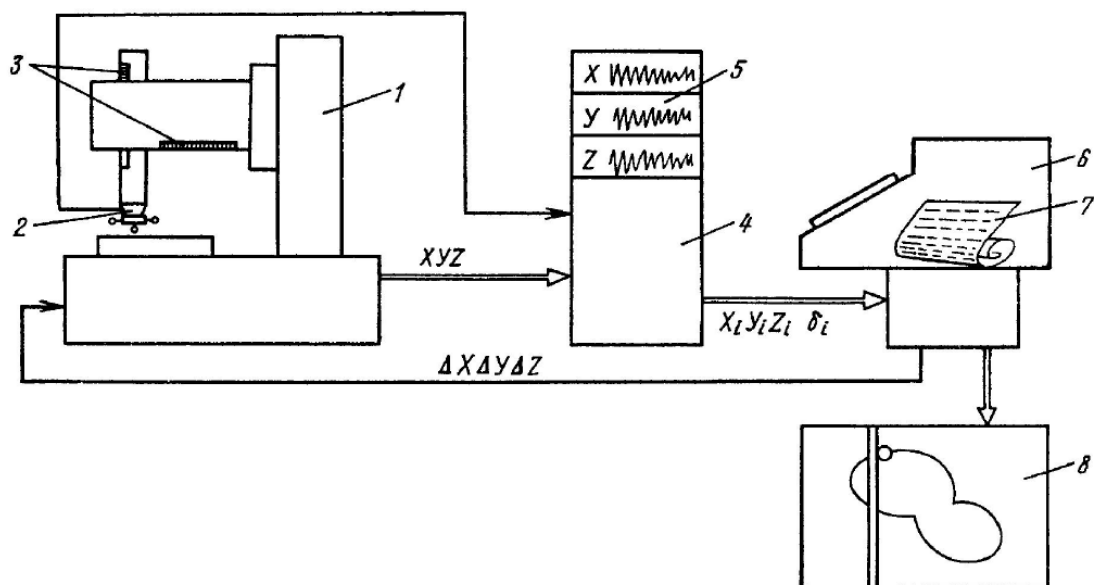


Рисунок 10.1 – Спрощена функціональна схема КВМ: 1 – корпус; 2 – вимірювальна голівка; 3 – датчики лінійних переміщень; 4 – інтерфейс; 5 – індикатор координат; 6 – цифровий керуючий пристрій; 7 – принтер; 8 – графічний пристрій

Конструкція КВМ реалізує ідею мехатронних систем у верстатобудуванні, забезпечує високу жорсткість корпусу 1 і прецизійну

механіку. Для виключення впливу на результати вимірювань вібрацій КВМ встановлюють на спеціальних віброізолюючих платформах.

Вимірювальна головка 2 є одним з основних елементів КВМ, тому що похибка її розмірів і форми безпосередньо входить в результат вимірювання. Принцип дії вимірювальної головки багато в чому визначають функціональні можливості КВМ, класи поверхонь і об'єм параметрів виробів, доступних для контролю. В сучасних КВМ похибка, яку вносить вимірювальна головка в результаті вимірювання, складає значення порядку 0,02 мкм. В КВМ використовуються різні типи вимірювальних головок в залежності від метрологічних задач, які зустрічаються на практиці.

Вимірювальна головка дає первинну інформацію у вигляді сигналу торкання щупа з поверхнею контрольованої деталі, яка використовується для визначення координат точки дотику. Результати контролю можуть містити виміряні значення координат точок поверхні деталі або значення відхилень цих координат від заданих у відповідних напрямках.

Похибка вимірювання координат точок дотику щупа вимірювальної головки 2 в основному визначається похибкою датчиків 3 лінійних переміщень вимірювальної головки 2 відносно контрольованої деталі за просторовими координатами X , Y , Z . В якості датчиків лінійних переміщень в КВМ використовуються лазерно-інтерферометричні енкодери, дискретність відліків яких досягає значень до 0,05 мкм. Ці енкодери також дозволяють контролювати кутові відхилення каретки з похибкою до 1 кутової секунди.

Автоматичне управління переміщеннями вимірювальної головки в робочому просторі КВМ здійснюється від цифрового керуючого пристрою 6. Зв'язок обчислювально-керуючого пристрою з приводами переміщення вимірювальної головки забезпечується інтерфейсом 4. Відображення результатів вимірювань забезпечується блоком цифрової індикації координат 5 і друкуючим пристроєм 7, які дозволяють оператору контролювати рух вимірювальної головки і виконання програми, перебуваючи безпосередньо біля вимірюваної деталі. Для виведення на друк результатів контролю КВМ може бути оснащена графопобудовувачем 8.

Для вимірювальної машини моделі КИМ-500 в залежності від класу точності результуюча похибка вимірювання параметрів форми деталей лежить в межах від $(0,5 + L/500)$ мкм до $(3,5 + L/120)$ мкм, де L – довжина деталі в мм.

На підставі викладеного можна зробити висновок, що висока точність КВМ забезпечується жорсткістю конструкції, відсутністю перешкод, обумовлених вібраціями, прецизійною механікою пристроїв переміщень, а також високоточними пристроями контролю лінійних і кутових відхилень вимірювальної головки. У багатьох випадках точність вимірювань, що забезпечується КВМ, достатня для вирішення більшості практичних задач. Проте, з порівняння значень похибок, яку вносить вимірювальна головка і датчики лінійних і кутових відхилень, з результуючою похибкою вимірювання розмірів деталей випливає, що остання практично в 10 разів більша. З цього факту можна зробити висновок, що можливості для досягнення більш високих

показників точності КВМ використані не у повному обсязі. Логічно припустити, що це пов'язано з відсутністю у складі КВМ засобів контролю складових похибок $\delta_y X$, $\delta_z X$, $\delta_x Y$, $\delta_z Y$, $\delta_x Z$, $\delta_y Z$, які обумовлені зміщеннями вимірювальної головки в напрямках, перпендикулярних робочим переміщенням.

10.3 Багатомірні пристрої та прилади

Наряду з КВМ, вимірювальними роботами (ВР), контрольно-сортувальними автоматами (КСА) у гнучких виробництвах широке застосування знайшли багатомірні швидкопереналагоджувальні прилади і пристрої.

Багатомірні прилади призначені для контролю деталей відносно простої форми (рис. 10.2).

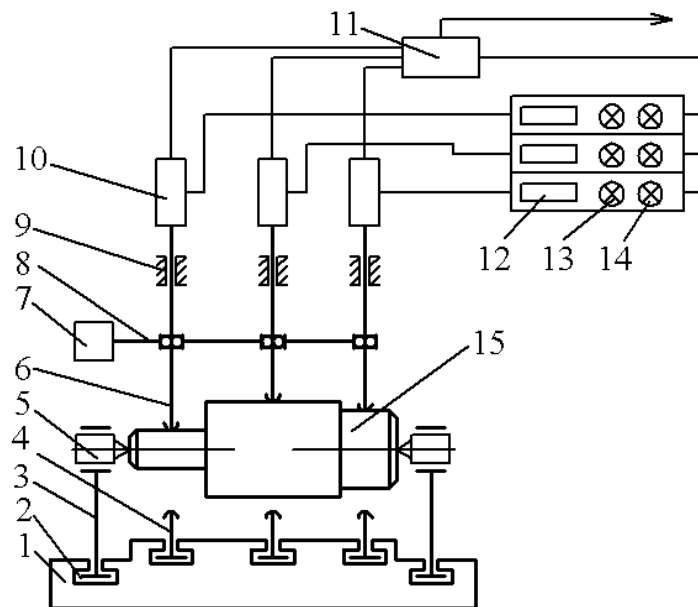


Рисунок 10.1 – Схема багатомірного пристрою для контролю ступінчатих валів

Ці прилади включають пристрої для аналізу стану технологічного процесу, а також пристрої формування команд управління техпроцесом за результатами вимірювання. Як правило, кожен з цих приладів призначається для контролю групи однотипних деталей.

Вимірювана деталь 15 встановлюється або у центрах 5, або на опори 4. Опори з кронштейнами 3 і центри можуть переміщуватись вздовж і поперек плити 1 у Т-подібних пазах. До кожного перерізу контролю підведено щупи 6 вимірювальних перетворювачів 10, що закріплені у кронштейнах 9.

Вимірювальна інформація поступає на табло 14, на якому розташовані відлікові пристрої 12 і сигнальні елементи 13, а також, на пристрій оброблення вимірювальної інформації 11. Наконечники можуть арретуватись (відводитись) пристроєм 7 через важіль 8.

Пристрій 11, у відповідності з встановленим алгоритмом, видає сигнали на управління техпроцесом, прогнозує необхідну кількість і період вимірювання деталей, а також видає команди на адресування вимірюваної деталі.

Багатомірні пристрої можуть оснащуватись вимірювальними скобами, змінними стійками, різними елементами кріплення та переміщення деталі, каретками, вимірювальними губками, утримувачами.

Багатомірні прилади вмонтовуються у технологічні лінії, модулі для виконання статистичного контролю, за результатами якого здійснюється управління технологічним процесом.

Багатомірні прилади оснащуються вимірювальною станцією з числом вимірювальних перетворювачів, рівним числу контрольованих параметрів; їх можна оперативно переналагоджувати з одного типорозміру на інший, адаптувати до транспортуючих механізмів виробничого комплексу.

Основні виробники: “Мар” (Німеччина), “Теза” (Швейцарія).

Контрольні питання

1. Для чого застосовуються КВМ?
2. Які пристрої входять до комплексу КВМ?
3. Який метод вимірювання використовується КВМ?
4. Де можна досягнути ефективного використання КВМ?
5. Для чого призначені багатомірні прилади і пристрої?

ТЕМА 11 ВИМІРЮВАЛЬНІ РОБОТИ ТА РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ

План

- 11.1 Робот, маніпулятор – основні поняття і визначення.
- 11.2 Призначення вимірювальних роботів.
- 11.3 Схеми і конструкції вимірювальних роботів.
- 11.4 Робототехнічні комплекси у автоматизованих виробництвах.

11.1 Робот, маніпулятор – основні поняття і визначення

Автоматизація у великосерійному і масовому виробництвах економічно вигідна на основі спеціалізованих автоматичних ліній. Для дрібно- та середньосерійного виробництва за частотої зміни номенклатури продукції, є більш вигідним використання промислових роботів.

Сучасні, серійні роботи з трьома ступенями рухомості можуть забезпечувати точність позиціонування $\pm 0,1$ мм, мають вантажопідйомність до 10 кГ, швидкість переміщення захватного пристрою до 0,6 м/с і робочу зону обслуговування до 500х500х500 мм. Точність позиціонування визначає, наприклад, виконання тих контрольних операцій, за яких проміжки між калібром та деталлю у яких співрозмірні з цією точністю. Для менших допусків у захватному пристрої монтується спеціальна головка або у системі управління маніпулятором використовуються коректуючі зворотні зв'язки.

Головна функція вимірювального робота (ВР) – захват і переміщення предмета (об'єкта вимірювання або вимірювального засобу) на необхідну позицію у зорієнтованому положенні і в необхідний момент часу.

На основі використання ВР можна:

- здійснювати метрологічні процеси, які за умовами виробництва неможливі з участю людини;
- досягти високої продуктивності контролю в умовах частотої змінюваності виробництва.

Основні технологічні характеристики робота:

- кількість робочих органів;
- ступінь автономності;
- вантажопідйомність;
- вид системи координат;
- число ступенів рухомості;
- характеристики рухомості (швидкість переміщення робочих органів);
- похибка позиціонування;
- тип приводу;
- габаритні розміри, маса.

11.2 Призначення вимірювальних роботів

Вимірювальний робот може виконувати типові контрольні операції:

- якісно оцінювати склад робочого середовища;
 - встановлювати присутність визначених об'єктів, їх підрахунок, визначати можливе розташування, давати якісну оцінку, розсортовувати на групи;
 - оцінювати значення параметрів деталей, які виготовляються;
 - визначати правильність функціонування окремих об'єктів або їх частин.
- Застосування роботів у поєднанні з ЕОМ дозволяє:
- виконувати роботи в важкодоступних місцях;
 - покращувати якість продукції;
 - скорочувати простой обладнання у переналагодженні;
 - комплексно автоматизовувати не тільки масове, але й дрібносерійне виробництво;
 - скорочувати строки освоєння нової продукції.

У залежності від призначення і складності виконуваних операцій ВР умовно поділяють на три покоління.

Перше покоління служить для переміщення вантажів різної маси, здійснюючи близько 1000 рухів.

Роботи другого покоління вже оснащені датчиками, що видають інформацію про стан окремих вузлів робота, об'єктів маніпулювання та оточуючого середовища.

Після перетворення сигнали з датчиків обробляються електронною обчислювальною машиною (ЕОМ) і дозволяють здійснювати управління виконавчими пристроями з врахуванням фактичної ситуації.

Роботи третього покоління (інтегральні роботи) мають «штучний діалект», високу ступінь сприйняття та розпізнавання обстановки, здатність вирішення автоматичного планування і контролю операцій.

Ці роботи можуть змінювати свої дії (адаптуватись) під впливом зміни зовнішнього середовища або під дією команд від заданої програми. Вони можуть обробляти, складати і випробовувати окремі види виробів, управляти одночасно декількома видами обладнання, контрольно-вимірювальними установками, прослідковувати хід виробництва, здійснювати кількісний і якісний облік продукції на різних стадіях виробництва.

11.3 Схеми і конструкції вимірювальних роботів

Вимірювальний робот складається з маніпулятора та системи управління.

Основні елементи маніпулятора – основа, рука і зап'ястя з захватним пристроєм. Основа визначає глобальні рухи робота, рука – регіональні, тобто, конфігурацію і розміри робочого простору, зап'ястя – локальні рухи. Захватні пристрої можуть бути механічними, вакуумними, електромагнітними.

Система управління роботом (рис. 11.1) може бути представлена

наступними рівнями:

- локальне управління окремими виконавчими механізмами роботи;
- програми функціонування робота;
- координація роботи робота і автоматичного суміжного обладнання;
- планування черговості і послідовності дій;
- контроль функціонування.

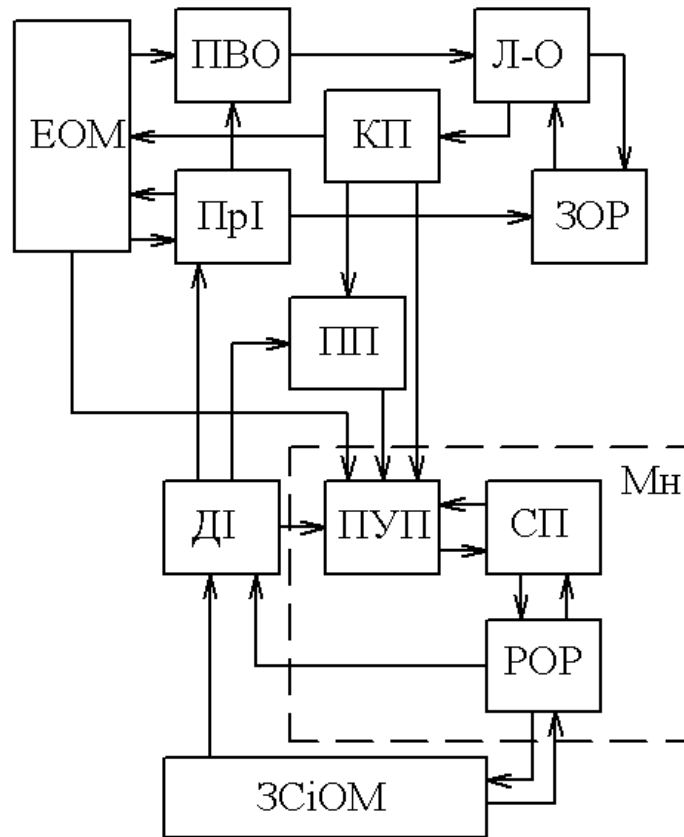


Рисунок 11.1 – Структурна схема робототехнічної системи: EOM – електронна обчислювальна машина; Л-О – людина-оператор; Мн – маніпулятор; ЗОМ – зовнішнє середовище і об'єкти маніпулювання; ПВО – пристрої відтворення обстановки; КП – командний пристрій; ЗОР – задаючі органи робота; ПП – програмний пристрій; ДІ – давачі інформації; ПрІ – перетворювачі інформації; ПУП – пристрій управління приводами; СП – система приводів; РОР – робочі органи робота

Системи управління можуть працювати за жорсткою (цикловою, позиційною, контурною і контурно-позиційною) та гнучкою програмами. Система управління включає ряд функціональних підсистем: навчання, пам'яті, відтворення і сенсорну.

У системі навчання вводиться інформація про послідовність дій, позиції і час виконання операцій.

Сенсорні системи служать для контролю і оцінки параметрів навколишнього середовища і стану робочих органів робота.

У якості давачів внутрішньої інформації про стан вузлів робота

використовують потенціометри, сельсини, граничні вимикачі, фотодавачі, давачі Холла.

Найбільш перспективне використання для метрологічної мети робіт, які мають можливість візуальної оцінки положення і якісного стану об'єктів контролю. У багатьох системах візуальна інформація від телевізійної камери, зв'язаної з ЕОМ, забезпечує побудову описів об'єктів та їх просторових відношень. У інших випадках використовуються спрощені давачі, наприклад, матриці фотоприймачів, у яких зображення фіксується у невеликій кількості точок робочої зони, так як часто нема необхідності в детальному аналізі зображень і заздалегідь відомі маси об'єктів маніпулювання. Таким чином, практично важливою є задача визначення маси об'єктів, їх орієнтації і координат серед неупорядкованого потоку деталей, що лежать на конвеєрі, і дуже часто ця задача вирішується не в просторі, а зводиться до двохірної задачі, аналізу випадкових зображень. Але навіть у цьому випадку оброблення інформації викликає значні затруднення. Процес сприйняття робота включає декілька етапів:

- ввід в систему управління інформації про зображення у вигляді матриці яркості розміром $N \times N$;
- попереднє оброблення цієї інформації – фільтрація, підкреслення меж однорідних ділянок, виділення контурів силуетів зображень, признаков тощо;
- аналіз зображень – виділення і класифікація об'єктів, визначення їх координат та орієнтації;
- вимірювання заданих параметрів об'єкта – здійснення програми траєкторії руху променя зчитування, фіксація результатів контролю, виявлення якісного стану об'єкта;
- управління діями робота – видалення бракованих об'єктів, розсортування на групи якості, формування сигналів управління технологічним процесом.

11.4 Робототехнічні комплекси у автоматизованих виробництвах

Для проектування робіт часто використовується модульний принцип, що дозволяє компонувати інтегровані системи, змінювати конфігурацію конструкції в умовах гнучких автоматизованих виробництв.

Одним з поширених варіантів використання вимірювальних робіт – відбір з групи нерухомих або з потоку деталей які переміщуються, виробів тільки певного типу для подальшого їх контролю.

Інша область застосування ВР – розсортування деталей на групи. Розсортування може виконуватись як за розмірами так і за формою деталей.

Робототехнічні комплекси дозволяють не тільки відбирати із загального потоку необхідні вироби, але й знаходити необхідний вимірювальний засіб, підносити його до виробу і здійснювати якісну та кількісну оцінку параметрів виробу.

На рисунку 11.2 показана схема робота – розсортувальника

проконтрольованих виробів для великої кількості груп якості, які визначаються різними поєднаннями параметрів придатності або браку.

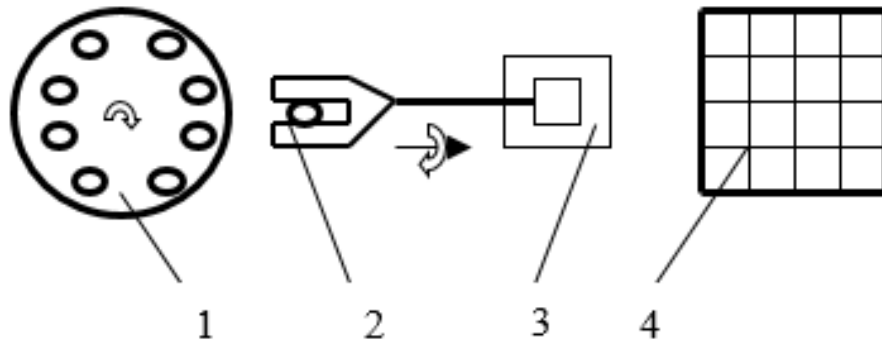


Рисунок 11.2 – Схема робота-розсортувальника

Вироби, які пройшли контроль, подаються за допомогою транспортуючого диска 1 у зону захвату руки 2 робота 3. У системі управління запам'ятовуються результати контролю всіх параметрів виробів і формується сигнал управління рухами робота, який надсилає виріб у визначену комірку касети 4. У даному випадку відпадає необхідність в установці чисельних заслонок та приводів для них, які направляли б виріб у відповідний відсік.

Контрольні питання

1. Яке призначення вимірювальних роботів?
2. Назвіть основні технічні характеристики роботів?
3. У чому полягає принцип побудови координатно-вимірювального робота?
4. основні функції системи управління координатно-вимірювального робота?
5. Назвіть найпоширеніші варіанти використання вимірювальних роботів.

ТЕМА 12 ПРОДУКТИВНІСТЬ АВТОМАТИЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

План

- 12.1 Циклограми роботи автоматичних засобів.
- 12.2 Пристрої управління циклом роботи
- 12.3. Порівняння архітектури мікропроцесорів.
- 12.4 Узгодження навантажень виконавчих елементів.

12.1 Циклограми роботи автоматичних засобів

Період циклу роботи автоматичного засобу характеризується циклограмою – основним документом, що визначає послідовність всіх операцій.

Циклограма будується за результатами розрахунку, проведеного конструктором у процесі проектування. Спочатку розглядаються періоди циклів функціональних вузлів: транспортуючих пристроїв, запам'ятовуючого, сортуючого та інших елементів схеми. Потім знаходять найбільш завантажений вузол – з найбільшим періодом, який і буде визначати період циклу всього автомата. Періоди циклів окремих пристроїв з меншим теоретичним часом прирівнюють до періоду циклу автомата. За умовний нуль циклограми приймають найбільш характерну вихідну точку роботи одного з вузлів автомата, наприклад, початок руху деталі до позиції вимірювання, або момент подачі напруги на вимірювальний перетворювач.

Циклограма може бути сітковою або лінійною. Сіткова циклограма зображується у вигляді графів, вершини яких відповідають певним операціям, а ребра – часу виконання цих операцій. У лінійній циклограмі період кожного циклу подається у вигляді окремої ступінчатої лінії (рис. 12.1).

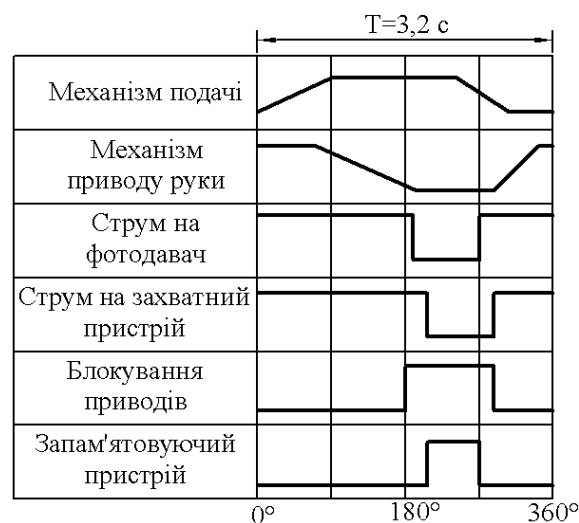


Рисунок 12.1 – Лінійна циклограма роботи засобу вимірювання

Транспортні операції зображуються як лінії, що мають прямі та похилі ділянки. Прямі ділянки визначають час вистою деталі або окремих рухомих елементів на певних позиціях, похилі – час їх переміщення. Операції, пов'язані з передачею інформації, показані як прямі лінії, розташовані на різних рівнях: один рівень означає подачу інформації на елемент схеми, інший – відсутність інформації на цьому елементі.

Паралельні лінії циклограми показують можливість суміщення окремих операцій. Внаслідок цього повний період циклу роботи окремого функціонального вузла може не мати конкретного вираження у вигляді однієї ступінчатої лінії, а визначається із сукупності окремих операцій, час яких задається роботою різних кулачків та послідовністю певних команд. Деякі операції визначаються на основі роботи кількох кулачків. Іноді один кулачок або одна команда можуть справляти визначальний вплив на тривалість декількох операцій.

Своєрідно відрізняються циклограми засобів вимірювання, у яких проходить безперервне переміщення деталі і носія вимірювальної інформації (рис. 12.2). У цьому випадку на циклограмі нема конкретного зображення часових операцій, пов'язаних з переміщеннями, так як у засобі вимірювання відсутні кулачки управління переміщеннями.



Рисунок 12.2 – Циклограма роботи засобу вимірювання з безперервним переміщенням деталі

На рисунок 12.3 представлено циклограма засобу вимірювання з послідовним повторенням операцій.

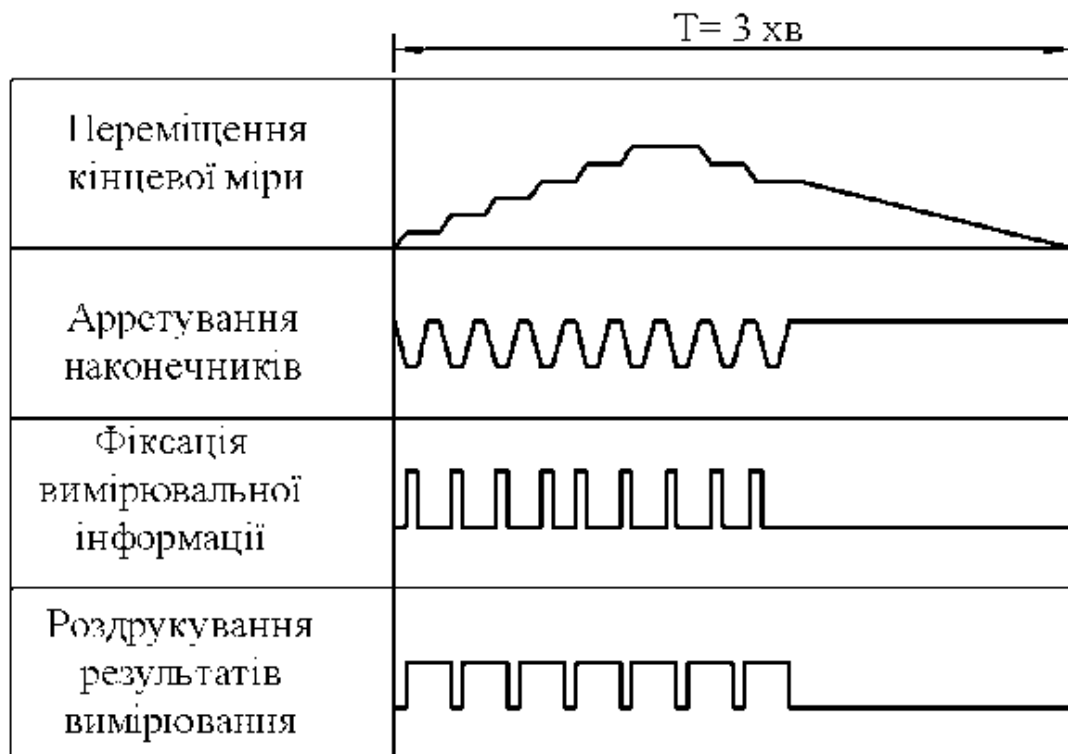


Рисунок 12.3 – Циклограма засобу вимірювання з послідовним повторенням операцій

12.2 Пристрої управління циклом роботи

За циклограмою виконуються: профілювання кулачків розподільчих валів; регулювання кулачків командоапаратів; складання програми для контролерів та маніпуляторів; встановлення та регулювання кінцевих і проміжних перемикачів, на які діють елементи механізмів автоматів.

Побудова та аналіз циклограми має важливе значення, так як прямо впливає на продуктивність автомата, що визначається за формулою:

$$\Pi = \frac{3600\eta n}{T}, \quad (12.1)$$

де η – коефіцієнт продуктивності, що враховує всі простої автомата;

n – кількість деталей, що контролюється за 1 год;

T – період циклу роботи автомата.

Отже, продуктивність Π знаходиться у прямій залежності від періоду циклу T роботи автомата. Так як автоматичні засоби для контролю розмірів умовно складаються з двох систем: транспортування деталей та управління й оброблення вимірювальної інформації, то період T теж складається з двох нерівнозначних періодів $T_{тр}$ та $T_{обр}$.

Період транспортування деталей може включати наступні часові складові: t_3 – час завантаження деталі у транспортуючий орган; t_e – час видачі деталей з транспортуючого органу; t_{pxi} – час руху деталі на ділянках транспортуючого кола; $t_{встi}$ – час встановлення деталі на певну позицію; $t_{зни}$ –

час зняття деталі з певної позиції; t_{ap} – час арретування вимірювальних наконечників; $t_{пер.p}$ – час робочих переміщень елементів механізмів; $t_{пер.x}$ – час холостих переміщень елементів.

Період оброблення вимірювальної інформації $T_{обр}$ може складатись з операцій: t_{ϕ} – час формування вимірювальної інформації; t_n – час подачі напруги на вимірювальний перетворювач; $t_{вст.i}$ – час встановлення вихідного сигналу елементу вимірювального кола; $t_{зч}$ – час зчитування вимірювальної інформації; $t_{пп.i}$ – час перетворення вимірювальної інформації; $t_{рст}$ – час реєстрації вимірювальної інформації.

12.3 Узгодження за функціональними ознаками

На стадії проектування автоматичних вимірювальних машин і контрольно-сортувальних автоматів дуже важливо узгодити роботу окремих функціональних та конструктивних вузлів. Це викликано рядом причин:

- а) під час проектування широко використовуються типові та стандартні елементи, пристрої, механізми;
- б) під час експлуатації ці комплекси часто переналагоджуються на інший типорозмір виробів з заміною ряду елементів;
- в) у процесі використання може виникнути необхідність зміни алгоритму роботи автомата;
- г) з розвитком техніки і технологій може виникати необхідність у модернізації автоматичних засобів вимірювання.

Першим кроком для вирішення задачі узгодження є перевірка відповідності роду енергії вихідних сигналів попередніх елементів з вхідними сигналами наступних елементів. У випадку порушення такої відповідності необхідно вводити додатково перетворювач енергії вихідного сигналу. Наприклад, світлова енергія оптичного елементу не може бути використана у вхідних колах напівпровідникового підсилювача.

Узгодження елементів за характером сигналів зводиться до аналізу можливості роботи кожного наступного елементу на енергії вихідних сигналів певної форми – постійний, змінний, імпульсний сигнал, що поступає з попереднього елементу. Для узгодження такого роду використовуються проміжні демодулятори або модулятори сигналів.

Найбільш складним є узгодження елементів за потужністю сигналів. Таке узгодження у залежності від режиму роботи і виконуваних функцій має на меті – отримання або найбільшої вихідної потужності, або найбільшого коефіцієнта підсилення за потужністю.

Узгодження елементів автоматичних пристроїв за потужністю зводиться до узгодження опорів вихідного кола попереднього елемента з вхідним опором кола наступного елемента. Будь-який елемент можна подати як блок, що включає два кола – вхідне, яке підключається до джерела корисного сигналу, та вихідне з джерелом живлення і навантаженням (рис. 12.4).

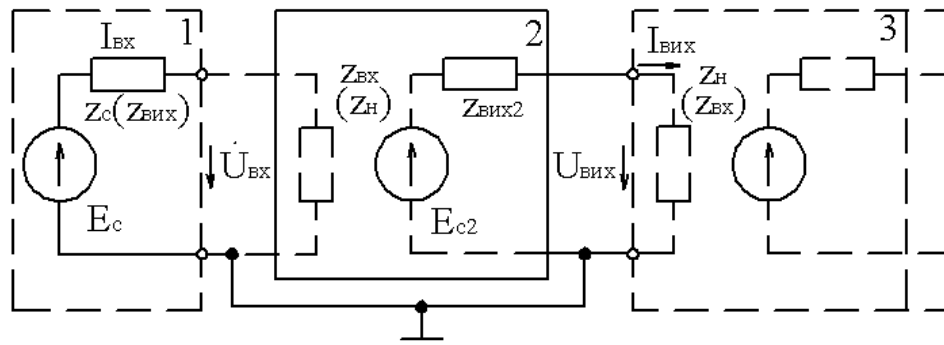


Рисунок 12.4 – Функціональна схема зв'язків суміжних елементів у системах контролю й управління

Можливі три співвідношення між вхідним опором наступного елемента з вихідним опором попереднього елемента:

- 1) $z_{ex} \gg z_{vkh1}$. У цьому випадку джерело сигналу працює у режимі холостого ходу, тому вхідною величиною елемента, що є навантаженням джерела сигналу буде напруга $\dot{U}_{ex} \cong \dot{E}_c$;
- 2) $z_{ex} \ll z_{vkh1}$. Ця умова відповідає роботі джерела сигналу в режимі, близькому до режиму короткого замикання. Вхідною величиною елемента (навантаження) буде струм короткого замикання джерела;
- 3) $z_{vkh} \cong z_{ex}^*$, де z_{ex}^* – комплексний опір. Таке співвідношення опорів близьке до умови передачі максимальної активної потужності від джерела сигналу до навантаження.

12.4 Узгодження навантажень виконавчих елементів

Узгодження кінцевих потужних каскадів управління з виконавчими двигунами та двигунів з виконавчими елементами виконується у такій послідовності. Спочатку, під час вибору двигуна, виконується узгодження за потужністю з виконавчим органом, що є навантаженням виконавчого двигуна. Очевидно, її значення повинне перевищувати максимально необхідну моментну потужність P у навантаженні:

$$P_n = aP, \quad a > 1. \quad (12.2)$$

Величина коефіцієнта a у (12.2) зворотно пропорційна коефіцієнту корисної дії редуктора, який зв'язує двигун з виконавчим органом і може змінюватись у широких межах – від 1,5 до 10. Найбільший вплив на цей коефіцієнт проявляє відношення механічних опорів, а саме опір навантаження:

$$z = \frac{F}{x}, \quad (12.3)$$

де F – сила на навантаженні; x – швидкість переміщення і внутрішнього механічного опору двигуна, що є опором двигуна зі сторони виходу – z_{vkh} , і визначається динамічними параметрами виконавчого елемента.

Максимальна потужність у навантаженні виділяється тоді, коли опір навантаження рівний спряжуваній величині внутрішнього опору двигуна:

$$Z_n = Z_{вих}^* . \quad (12.4)$$

Тут, у (12.4):

$$Z_n = \frac{Z}{n^2} , \quad (12.5)$$

де n – передатне відношення редуктора узгодження.

У більшості випадків навантаження задане і є активним (в'язке тертя), активно-інерційним або пружно-активно-інерційним, що унеможливорює повне узгодження його з виконавчим двигуном. У такому випадку допускається часткове узгодження, однією з умов якого є рівність $Z_n = Z_{вих}$, або

$$Z = n^2 Z_{вих} . \quad (12.6)$$

Одночасно з вирішенням задачі узгодження за потужністю виникає задача раціонального розподілу коефіцієнтів підсилення між окремими елементами. Для вирішення цієї задачі враховуються характеристики комплектуючих елементів з заданими коефіцієнтами підсилення, а також статичні та динамічні передатні характеристики окремих ланок системи.

Контрольні питання

1. Що являє собою циклограма роботи автоматизованих засобів?
2. Як будується циклограма роботи автоматизованих засобів?
3. Які види робіт виконуються за циклограмою?
4. Як впливає циклограма на продуктивність автомата?
5. З яких двох умовних систем складаються автоматичні засоби для контролю розмірів деталей?

ТЕМА 13 АВТОМАТИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ МАШИНИ І КОНТРОЛЬНО-СОРТУВАЛЬНІ АВТОМАТИ

План

- 13.1 Призначення та область застосування автоматичних вимірювальних машини (АВМ) і контрольно-сортувальних автоматів (КСА).
- 13.2 Структурні схеми.
- 13.3 Контрольні пристрої.
- 13.4 Пристрої оброблення вимірювальної інформації.
- 13.5 Транспортуючі пристрої АВМ і КСА, конвеєри, мікроліфти.
- 13.6 Орієнтатори, накоплювачі деталей.
- 13.7 Сортуючі та допоміжні пристрої.
- 13.8 Аналізатори і коректори стаціонарності потоку.

13.1 Призначення та область застосування автоматичних вимірювальних машини (АВМ) і контрольно-сортувальних автоматів (КСА)

У машинобудуванні АВМ та КСА використовуються для розмірного контролю деталей, реєстрації вимірювальної інформації та розсортування виробів на групи. Найбільш ефективним є використання цих засобів вимірювання в умовах серійного і масового виробництва.

Робочі машини – пристрої, побудовані на основі механізмів, і призначені для зміни стану, форми, властивостей або переміщення предметів діяльності людини, є найбільш поширеними об'єктами управління. Переміщення предметів за заданим маршрутом називається адресуванням. Якщо адресування виконується для розподілу предметів на класи або групи, то таке адресування називається сортуванням, а машини, що його здійснюють – сортувальними.

Поєднання системи контролю параметрів предметів з сортувальною машиною утворює контрольно-сортувальну машину. Якщо переміщення предметів і передача сигналів здійснюється без участі людини, то такий пристрій називається автоматичною вимірювальною машиною (АВМ). АВМ, яка включає сортуючий пристрій називається контрольно-сортувальним автоматом.

Одним з варіантів використання АВМ є вилучення з загального потоку бракованих виробів. Іноді категорію «брак» розділяють на дві групи: виправний брак та остаточний (кінцевий) брак.

На складальних операціях можуть використовуватись сортувально-комплектуючі автомати. У них виконується автоматичне сортування одночасно двох деталей, у з'єднанні яких повинна забезпечуватись певна посадка. За результатами розмірної кваліфікації однієї з деталей, здійснюється відповідний розмірний підбір з групи спряжуваних деталей для селективного

складання.

За функціональним призначенням КСА можна розділити на три варіанти:

1. КСА для допускового контролю і сортування за одним параметром;
2. КСА для багатодіапазонного контролю і сортування за одним параметром;
3. КСА для допускового контролю і сортування за декількома параметрами.

Наприклад, деталь «Втулка» (рис. 13.1) має три розмірних параметри: зовнішній діаметр D , внутрішній діаметр d і висоту h . Допустимо, необхідно контролювати параметр D , а розміри d і h – вільні і контролю не підлягають. Деталі будуть розподілятися на дві групи: «придатні» – діаметр D знаходиться у межах допуску, та «брак» – діаметр D виходить за межі допуску. У цьому випадку структура автомата буде відповідати першому варіанту.

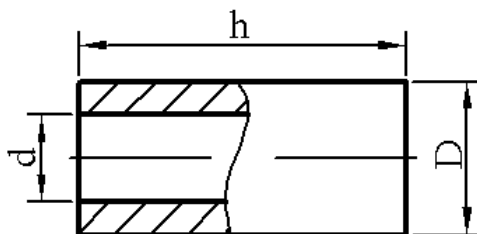


Рисунок 13.1 – Деталь «Втулка» та її розмірні параметри

Тепер допустимо, що у виготовленні втулок допуск на зовнішній діаметр D становить $+20$ мкм. Цими втулками буде комплектуватись вузол, де вони встановлюються попарно. Різниця допусків діаметрів D у кожній парі не повинна перевищувати 4 мкм. Отже, перед складанням всі виготовлені втулки необхідно розсортувати по зовнішньому діаметру на 5 груп ($20:4$) з інтервалом 4 мкм. Як і у першому варіанті розміри d і h є вільними і контролю не підлягають. У цьому випадку структура КСА буде відповідати другому варіанту.

Якщо ж виникне необхідність контролювати всі параметри втулки: зовнішній діаметр D , внутрішній діаметр d і висоту h , та розсортовувати на групи «придатні» і «брак», то структурна схема КСА буде відповідати третьому варіанту.

13.2 Структурні схеми

Структурні схеми АВМ та КСА можна розглядати як поєднання двох функціональних підсистем – систему переміщення деталей і систему контролю та управління.

Система переміщення деталей є поєднанням механічних вузлів і призначається для міжпозиційного транспортування, просторової орієнтації, накоплення та тимчасового зберігання виробів, які контролюються.

Система контролю та управління включає вимірювальні та виконавчі

пристрої, пристрої управління циклом роботи, оброблення, запам'ятовування та зберігання вимірювальної інформації. Сучасні системи управління будуються на електронних елементах, може також використовуватись комп'ютерна техніка з відповідним програмним забезпеченням.

У КСА (рис. 13.2) деталі для розсортування завантажуються у транспортуєчий пристрій ТП1 і поштучно передаються на другий транспортуєчий пристрій ТП2, який доставляє їх на вимірювальну позицію. Тут встановлено вимірювальний пристрій, який складається з давача-класифікатора Д-К і вимірювальної оснастки ВО. У датчика-класифікаторі вимірюється необхідний параметр деталі, результат порівнюється з нормованим значенням і формується рішення про відповідність або невідповідність параметра заданим межам допуску. Тут одне з рішень оцінюється як віднесення деталі до категорії «придатна», інше – до категорії «брак».

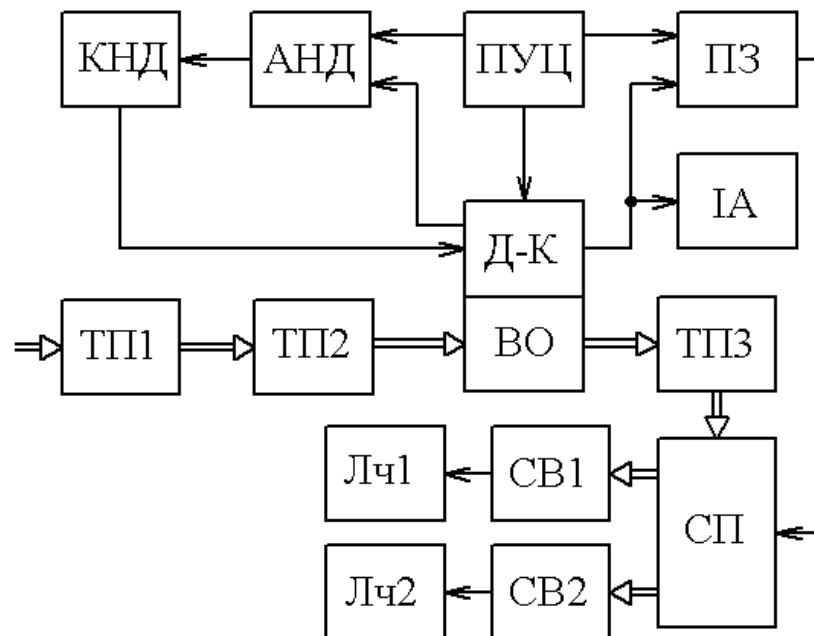


Рисунок 13.2 – Структурна схема КСА для допускового контролю і сортування за одним параметром: ТП1-ТП3 – транспортуєчі пристрої; СП – сортуєчий пристрій; СВ1-СВ2 – сортувальні відсіки; Д-К – давач-класифікатор; ВО – вимірювальна оснастка; ПУЦ – пристрій управління циклом; ПЗ – запам'ятовуючий пристрій; АНД – аналізатор налагодження давача; КНД – коректор налагодження давача; ІА – індикатор адресування; Лч1-Лч2 – лічильники деталей

Сигнал з датчика-класифікатора Д-К поступає у систему оброблення інформації, яка складається з запам'ятовуючого ПЗ та сортуєчого СП пристроїв, а деталь, за допомогою транспортуєчого пристрою ТП3, передається з позиції контролю на позицію сортування. Сортуєчий пристрій має виконавчі механізми, які під дією сигналів контрольної інформації

направляють деталі у відсіки СВ1 («придатні») або СВ2 («брак»). На час переміщення деталі транспортуючим пристроєм ТПЗ, інформація зберігається у запам'ятовуючому пристрої ПЗ.

До основних елементів КСА належить і пристрій управління циклом ПУЦ – пристрій з набором контактних груп з кулачковим механізмом. Послідовність та тривалість замикання кожного з контактів визначається профілем відповідного кулачка. У сучасних моделях КСА в якості ПУЦ застосовуються електронні схеми синхронізації або контролери.

Разом з основними елементами КСА може включати ряд допоміжних пристроїв: індикатор адресування ІА, лічильники кількості придатних та бракованих деталей Лч1-Лч2, а також пристрої автоматичного підналагодження: аналізатор налагодження давача АНД та коректор налагодження давача КНД. АНД та КНД включаються періодично, через задане число циклів роботи автомата за сигналами з ПУЦ.

Схеми можуть будуватися за двома варіантами – з послідовним або паралельним допусковим контролем. КСА послідовного типу складаються з послідовно з'єднаних схем для однодопускового контролю і встановленим на виході загальним сортуючим пристроєм. У КСА паралельного типу контроль і розсортування проводиться одночасно.

13.3 Контрольні пристрої

Контрольні пристрої у КСА виконують функції: базування деталей, їх фіксацію, затискання, за необхідності, провертання, та вимірювання заданих параметрів. Відповідно, до складу контрольного пристрою входять: елементи базування, вимірювальна оснастка, первинний та проміжний перетворювачі, порогові елементи (рис. 13.3).

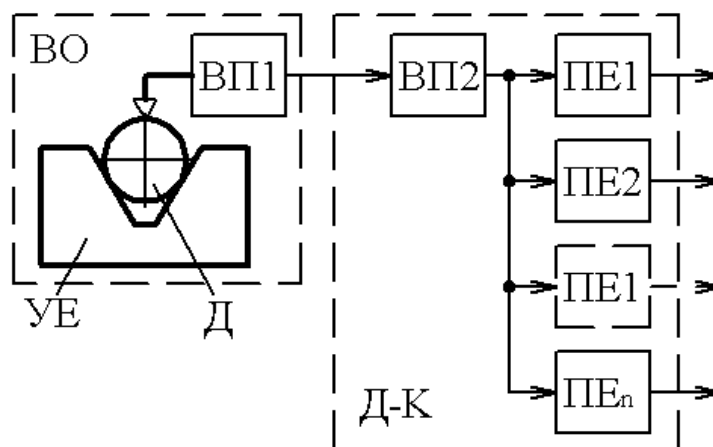


Рисунок 13.3 – Структурна схема контрольного пристрою:
ВО – вимірювальна оснастка; Д-К – датчик-класифікатор; Д – деталь;
УЕ – установочні елементи; ВП1 – первинний вимірювальний перетворювач; ВП2 – проміжний перетворювач; ПЕ – порогові елементи

Деталь Д базується на позиції контролю з допомогою установочних елементів УЕ. З деталлю взаємодіє первинний вимірювальний перетворювач ВП1, який передає інформаційний сигнал на проміжний перетворювач ВП2 і далі на порогові елементи ПЕ.

У контрольних пристроях КСА найбільш часто використовують електроконтактні, фотоелектричні, пневмоелектроконтактні, індуктивні вимірювальні перетворювачі.

13.4 Пристрої оброблення вимірювальної інформації

Основною відмінною ознакою КСА для багатодіапазонного контролю і сортування (рис. 13.4) є застосування у схемі кодоперетворювачів КП1 і КП2. Введення у схему кодоперетворювача КП1 викликане тим, що давач-класифікатор повинен формувати не два чи три сигнали, а значно більше – до десяти і більше, у залежності від кількості класифікаційних інтервалів. Як правило, інформаційний сигнал кодується у двійковому коді. У цій схемі запам'ятовуючий пристрій ПЗ виконує одночасно і функції дешифратора (декодера).

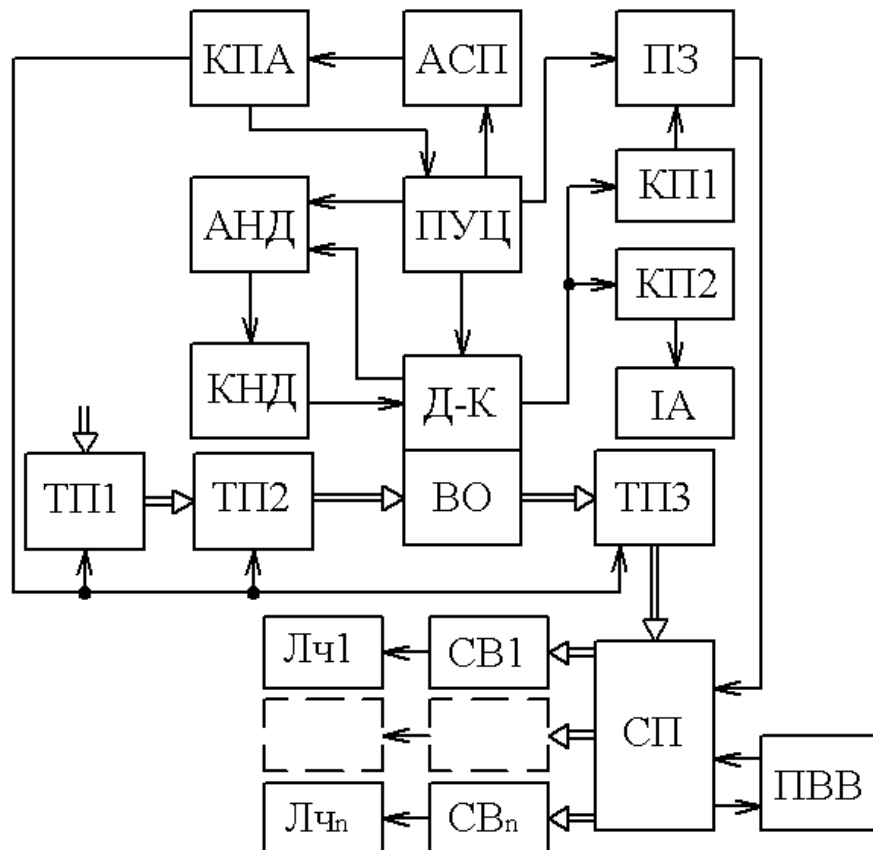


Рисунок 13.4 – Структурна схема КСА для багатодіапазонного контролю і сортування за одним параметром: КП1, КП2 – кодоперетворювачі; ПВВ – пристрій виявлення відмов; АСП – аналізатор стаціонарності потоку; КПА – коректор продуктивності автомата

Якщо індикатор адресування ІА виконано у вигляді цифрового табло, то виникає необхідність у застосуванні кодоперетворювача КП2 – для перетворення інформаційного сигналу в десятковий код.

У схему рисунку 13.4 введено додаткові функціональні вузли: пристрій виявлення відмов ПВВ – для підвищення надійності роботи сортувального пристрою, аналізатор стаціонарності потоку АСП та коректор продуктивності автомата КПА – для «гнучкості» у роботі системи управління.

Схеми автоматів для контролю за декількома параметрами відрізняються тим, що в них використовується не один, а стільки давачів-класифікаторів, скільки контролюється параметрів (рис. 13.5).

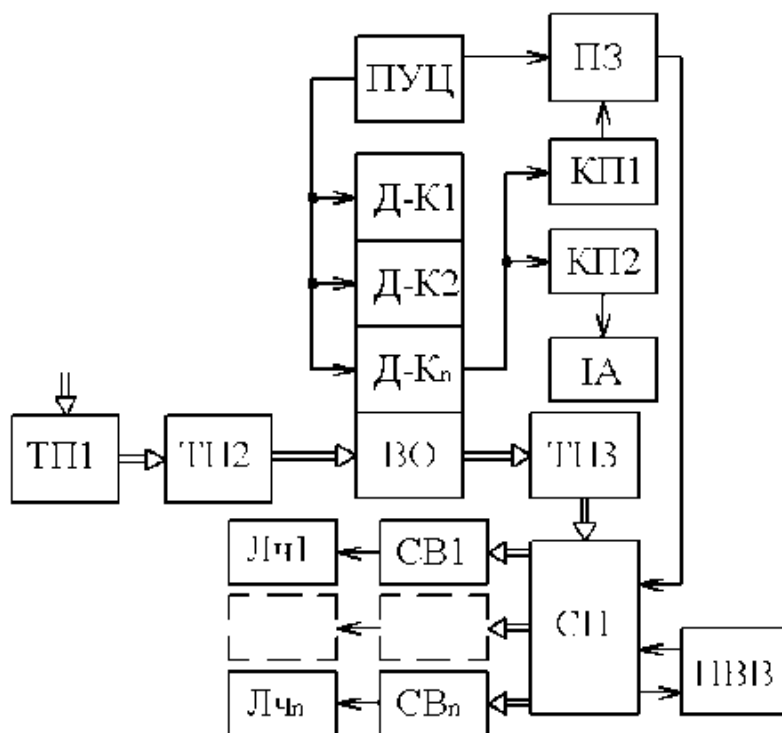


Рисунок 13.5 – Схема КСА для паралельного контролю й сортування за декількома параметрами

Контрольна інформація з давача-класифікатора у вигляді аналогового або дискретного сигналу передається у запам'ятовуючий пристрій, а за необхідності, попередньо перетворюється в код.

У загальному випадку, код – це послідовність комбінацій символів 0, 1, 2..., кожна з яких відповідає певному значенню параметра контролю або певному сортувальному відсіку.

Схеми пристроїв оброблення інформації будуються на електронних елементах. У КСА для багатодіапазонного контролю, для контролю по декількох параметрах використовується мікропроцесорна та комп'ютерна техніка. Так, у КСА для контролю голкороликів мод. 45301 використовується контролер «Мікрон – 14», для управління АВМ, що контролює параметри кілець підшипників АИМ-К і АИМ-Б – комп'ютер з відповідним модемом та програмним забезпеченням.

13.5 Транспортуючі пристрої АВМ і КСА, конвеєри, мікроліфти

Транспоруючі пристрої в АВМ і КСА виконують функції: завантаження, накопичення, просторову орієнтацію, поштучну видачу та переміщення деталей.

Для переміщення деталей з однієї позиції на іншу, наприклад, з позиції контролю на позицію сортування, служать механізми міжпозиційного транспортування. За характером руху їх поділяють на реверсивні та нереверсивні, на механізми переривистого та неперервного руху.

Реверсивні механізми переривистого руху виконують у вигляді автооператорів або крокових конвеєрів. Автооператори приводяться в дію з допомогою кривошипа або кулачка. Обидва ці елементи можуть забезпечувати безударний закон руху штовхача, але кривошип переміщує штовхач без вистоювання за законом «прямий хід – зворотний хід – прямий хід», а кулачок може переміщувати штовхач за різними законами руху і забезпечувати, при необхідності, затримку штовхача.

Крокові конвеєри з реверсивним рухом застосовуються у багатопозиційних автоматах для контролю деталей по декількох параметрах. Вони складаються з кінематично пов'язаних автооператорів. Зв'язок автооператорів забезпечується рейковою передачею або траверсами, що утворюють шарнірний паралелограм.

Нереверсивні механізми переривистого руху переміщують деталі по колу або лінійно. У першому випадку їх називають каруселями, в другому – нереверсивними кроковими конвеєрами.

Каруселі – це диски з отворами або пазами по периметру, в яких розміщуються деталі. Вони виконуються з вертикальним або горизонтальним розташуванням валу. Крокові конвеєри – замкнутий ланцюг, який обхватує приводну і напрямні шестерні. До ланок ланцюга кріпляться поперечні пластини-утримувачі, які переміщують деталі.

Для отримання нереверсивного переривистого руху каруселей та крокових конвеєрів використовують механізми періодичного повертання: храпові, мальтійський хрест, кулачково-роликові та передачі з муфтовим зчепленням.

Механізми неперервного руху – це каруселі або конвеєри, з'єднані з валом двигуна через черв'ячну, зубчасту, ланцюгову або пасову передачу. Застосовуються у випадку, якщо деталь можна контролювати у русі, без зупинки.

13.6 Орієнтатори, накоплювачі деталей

Просторова орієнтація деталей у транспоруючому пристрої буває активною, коли деталі примусово встановлюються у необхідне положення, та пасивною, коли неправильно зорієнтовані деталі відсіюються із загального потоку.

Для орієнтації деталей застосовують різні методи, які ґрунтуються на використанні:

- спеціальних давачів (індуктивних, ємнісних, фотодавачів, індикаторів контакту);
- особливостей форми деталі;
- положенні центру ваги;
- обертаючих напрямних лотків;
- електромагнітного поля.

Ковпачки, які отримали попередню орієнтацію, попадають по лотку в орієнтатор. Якщо ковпачок опускається дном донизу (рис. 13.8, а), штовхач пропускає його у такому ж положенні у відповідний лоток. Якщо дно виявилось вгорі (рис. 13.8, б), ковпачок зачепиться за штир і перевертається штовхачем.

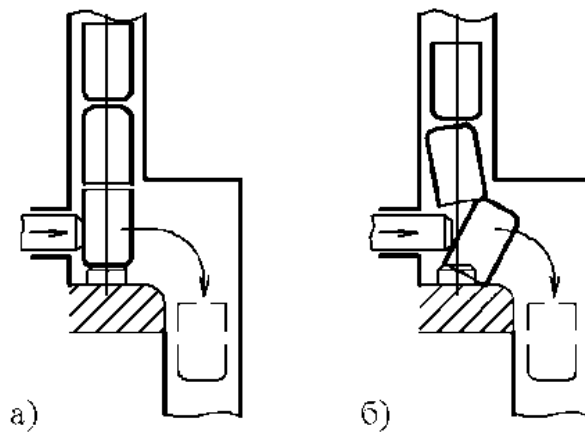


Рисунок 13.8 – Схема орієнтатора ковпачків

Для розподілу потоку кілець конічних підшипників (рис. 13.9,а) промінь від джерела світла 2 направляється на фотоелемент 3, і подається команда для примусової повертання кільця. Якщо кільце займає неправильне положення (рис. 13.9,б), промінь світла відбивається від конічної поверхні отвору, фотоелемент не спрацьовує, і деталь продовжує рухатись по лотку.

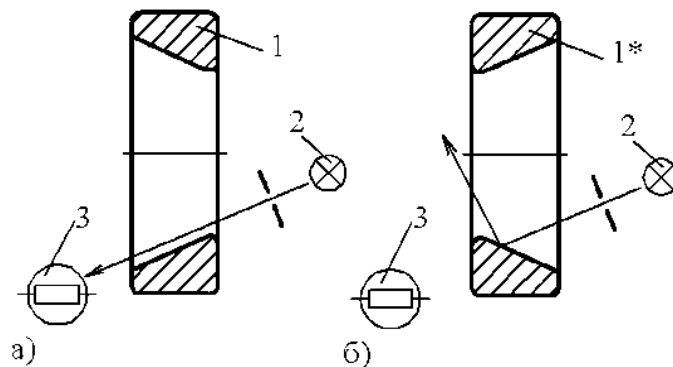


Рисунок 13.9 – Орієнтування з допомогою фотоелемента: 1 – деталь з необхідною орієнтацією; 1* – деталь з неправильною орієнтацією; 2 – джерело світла; 3 – фотоелемент

Синхронна видача деталей з магазинів (орієнтація по часу) виконується механізмами поштучної видачі. Найбільш поширені пристрої – відсікачі деталей зі зворотно-поступальним та коливним (маятникові) рухом.

13.7 Сортуючі та допоміжні пристрої

Сортуючий пристрій (СП) є останньою ланкою в колі обробки вимірювальної інформації і, разом з тим, – виконавчим органом КСА (рис. 13.11). Контрольна інформація поступає на сортуючий пристрій одночасно з поступленням на нього деталі. Тут інформаційна кодова комбінація реалізовується у направлення деталі до заданого сортувального відсіку.

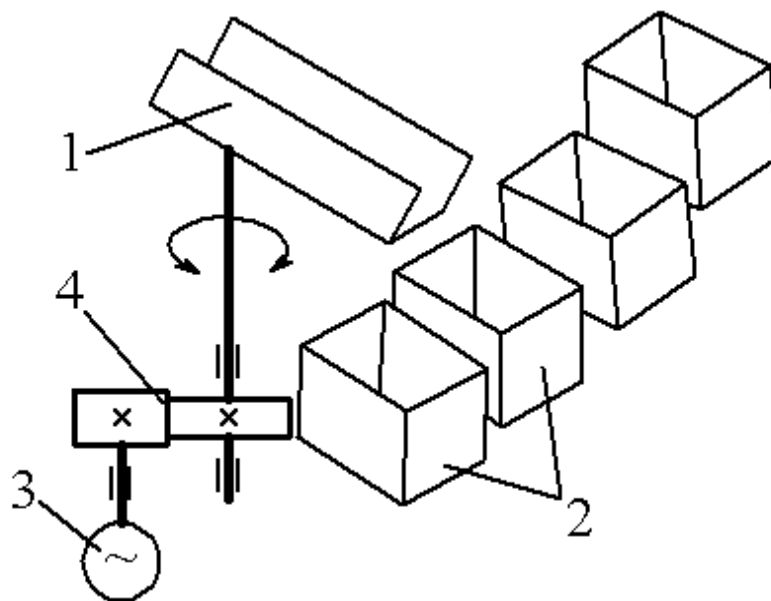


Рисунок 13.11 – Послідовний сортуючий пристрій з поворотним лотком: 1 – поворотний лоток; 2 – сортувальні відсіки; 3 – кроковий двигун; 4 – редуктор

Розрізняють СП послідовної, у яких деталі сортуються одна за одною, та паралельної дії – декілька деталей одночасно направляються у різні сортувальні відсіки.

Сортуючі пристрої шахтного типу (рис. 13.12) відрізняються високою швидкістю та реалізацією вимірювальної інформації у вигляді двійкового коду на заключному етапі її проходження.

Деталі 3 поступають на сортувальник одночасно з інформаційним сигналом ІС, що подається у двійковому коді на електромагніти 2. В залежності від кодової комбінації спрацює певна група електромагнітів, перекине заслінки і деталь потрапить у відповідний відсік сортувальника.

До допоміжних пристроїв АВМ і КСА відносяться: індикатори адресування, лічильники кількості деталей, пристрої виявлення відмов, аналізатори та коректори налагодження і стаціонарності потоку.

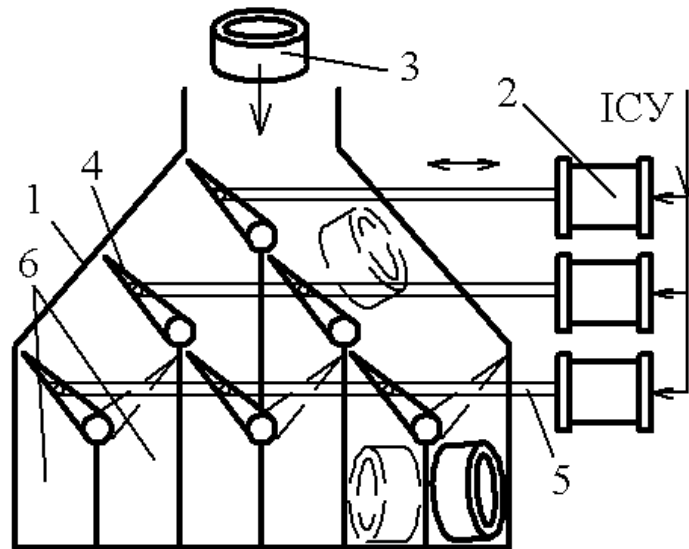


Рисунок 13.12 – Схема послідовного двійкового сортуючого пристрою шахтного типу: 1 – сортувальний бункер; 2 – електромагнітні виконавчі пристрої; 3 – деталі на сортування; 4 – заслінки; 5 – тяги; 6 – сортувальні відсіки. ІСУ – інформаційні сигнали управління заслінками

Індикатори адресування використовуються тільки для налагодження автоматів. Це можуть бути світлові індикатори (лампочка, світлодіод) – їх кількість рівна числу груп сортування, або цифровий дисплей, що показує номер сортувального відсіку адресування.

13.8 Аналізатори і коректори стаціонарності потоку

Коректори налагодження застосовують для зміщення точки початку відліку з метою приведення її до заданої величини. Коректори працюють за принципом відхилення та компенсації:

$$\Delta X_0 = X'_0 - X_0, \quad (13.1)$$

де X_0 – необхідне значення точки відліку;

X'_0 – фактичне значення, отримане при вимірюванні еталонної деталі.

Вимірювальний перетворювач 6 (рис. 13.13) прямо або через підсилювач включається у мостову схему. Сюди ж входить задатчик налагодження 1, з допомогою якого встановлюється необхідне значення X_0 . Після подачі механізмом 8 еталонної деталі 7 під щуп давача у мостовій схемі виникає розбаланс, і двигун 3, включений в діагональ моста через підсилювач 2, почне обертатись.

Його оберти через механізми 4 і 5 перетворюються у вертикальне переміщення давача відносно опори. Це відбувається до моменту, доки встановиться рівновага мостової схеми, тобто, компенсується зміщення налагодження вимірювального перетворювача.

Схема на рисунку 13.13 включає як аналізатор (елементи 1,2,7,8), так і коректор налагодження (елементи 3,4,5).

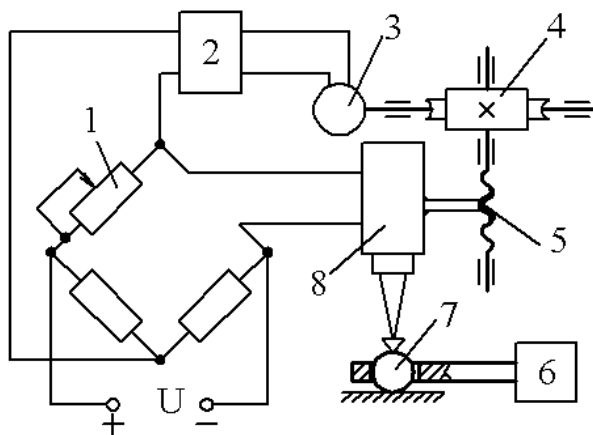


Рисунок 13.13 – Коректор налагодження вимірювального перетворювача:
 1 – задавач налагодження; 2 – підсилювач; 3 – реверсивний двигун;
 4 – редуктор; 5 – механізм переміщення; 6 – вимірювальний перетворювач;
 7 – еталонна деталь; 8 – механізм подачі еталонної деталі; 8 – мостова
 схема порівняння

Аналогічно будуються і схеми аналізаторів та коректорів стаціонарності потоку. Тільки вхідною величиною тут служить величина розмаху розсіювання розмірів контрольованих деталей. За сталого значення відхилень від розміру, пристрій видає команду на прискорення циклу роботи автомата. Якщо мають місце великі розсіювання розміру, цикл роботи автомата сповільнюється.

Контрольні питання

1. Яке призначення та область застосування АВМ і КСА?
2. Як розділяють КСА за функціональним призначенням?
3. Які функції виконують контрольні пристрої у КСА?
4. Поясніть принцип роботи КСА для допускового контролю і сортування за одним параметром?
5. Поясніть принцип роботи КСА для багатодіапазонного контролю і сортування за декількома параметрами?
6. Поясніть принцип роботи КСА для паралельного контролю і сортування за одним параметром?
7. Які функції виконують транспортуючі пристрої в АВМ і КСА?
8. Для чого призначені механізми міжпозиційного транспортування?
9. Які методи використовуються для орієнтації деталей?
10. Поясніть принцип дії послідовного сортувального пристрою з поворотним лотком.
11. Поясніть принцип дії послідовного двійкового сортувального пристрою шахтного типу.
12. Для чого застосовується коректор налаштування вимірювального перетворювача?
13. Як виконується повірка АВМ і КСА?

ТЕМА 14 ПОВІРКА ТА НАДІЙНІСТЬ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

План

- 14.1 Методики повірки АВМ і КСА.
- 14.2 Забезпечення надійності АВК.
- 14.3 Методика випробування і калібрування приладів активного контролю.

14.1 Методики повірки АВМ і КСА

Повірка АВМ і КСА виконується з метою встановлення відповідності їх метрологічних характеристик паспортним даним.

При повірці випадкової складової похибки визначається середньоквадратичне відхилення або розмах вихідного сигналу, показів, спрацювання і меж груп сортування.

Повірка похибки вихідного сигналу АВМ виконується за зразковим засобом вимірювання з відліковим пристроєм. У засобах вимірювання для конкретних деталей похибка визначається за відліковим пристроєм при багатократній установці на вимірювальну позицію зразкових деталей (еталонів).

Середньоквадратичне відхилення σ визнається з 20 – 50 показів відомими способами математичної статистики.

Розмах показів A визначається як різниця екстремальних значень показів Y_i із числа показів, обумовлених у паспорті вимірювального засобу:

$$A = Y_{\max} - Y_{\min}. \quad (14.1)$$

Як правило, число вимірювань коливається від п'яти до десяти.

Для оперативної оцінки точності при багатодіпазонному сортуванні у виробничих умовах широко застосовується визначення різнорозмірності деталей у групі. Різнорозмірність регламентується технологічними вимогами. Без врахування впливу похибок форми деталі різнорозмірність складається з окремих складових:

$$\chi = \xi_n + \Delta_\xi + \Delta_{zm} + \delta, \quad (14.2)$$

де ξ_n – номінальне значення інтервалу сортування;

Δ_ξ – похибка інтервалу сортування;

Δ_{zm} – зміщення рівня налагодження;

δ – похибка розсіювання меж групи.

Беруть вибірку з 20 – 100 деталей сортувального відсіку, визначають різнорозмірність деталей у даній групі по зразковому приладу. Отримана різнорозмірність деталей не повинна перевищувати паспортних даних. Якщо перевищує, перевіряють послідовно Δ_{zm} , Δ_ξ , δ .

Зміщення рівня налагодження в АВМ повіряється таким чином. На

початку роботи, багатократно встановлюють під чутливий елемент зразкову деталь, за відліковим пристроєм визначають середньоарифметичне значення $\ddot{Y}_n$ з 10–20 показів. Після заданою у технічних умовах кількості вимірювань або часу роботи АВМ, не зміщуючи налагодження, знову під чутливий елемент багаторазово встановлюють ту ж зразкову деталь і знаходять середньоарифметичне значення $\ddot{Y}_k$. Зміщення рівня налагодження визначають за формулою:

$$\Delta_{зм} = \ddot{Y}_n - \ddot{Y}_k. \quad (14.3)$$

Для КСА багатодіапазонного сортування, у виробничих умовах, доцільно застосувати метод визначення зміщення налагодження за зміщенням центру групування розмірів у сортувальних групах. На початку роботи із групи береться вибірка на 10 – 50 деталей і визначається середньоарифметичне значення розмірів d_{ni} . Після заданого часу роботи береться повторна вибірка із такої ж кількості деталей і визначається середньоарифметичне значення розмірів d_{ki} . Різницею середньоарифметичних значень і визначається зміщення рівня налагодження

$$\Delta_{зм} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{ki}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n d_{ni}}{n} \quad (14.4)$$

де n – кількість деталей у вибірці.

Визначення динамічних похибок АВМ і КСА – процес технічно складний, потребує використання спеціальної апаратури, наприклад, шлейфового осцилографа, вібровимірювальних приладів. Проводиться з метою випробування нової техніки або для технічного діагностування засобів вимірювання.

14.2 Забезпечення надійності АВК

Надійність – це властивість системи виконувати задані функції протягом встановленого періоду зі збереженням експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування та ремонтів. Надійність – один з основних показників якості системи, комплексу. Висока надійність роботи вимірювальних комплексів закладається на етапі їх проектування і забезпечується на етапах виробництва та експлуатації.

Роботопридатність – це стан системи, за якого виконуються задані функції, зі збереженням основних параметрів у межах, встановлених нормативно-технічною документацією.

Порушення роботиздатності називається відмовою. За ступенем впливу на роботоздатність відмови поділяють на повні і неповні, за фізичним характером – на катастрофічні і параметричні, за характером процесу виникнення – на раптові і поступові. Відмови можуть бути залежними і незалежними. Відмови відбуваються від впливу багатьох чинників, які можуть

бути розділені на дві групи: суб'єктивні та об'єктивні.

Надійність складної технічної системи залежить від надійності кожного з елементів, які входять в систему та взаємодіють між собою. Для визначення надійності елементів систем, виконується аналіз причин виходу з ладу того чи іншого елемента. Проблема забезпечення надійності роботи комплексу повинна вирішуватись на всіх етапах: під час проектування, виробництва та експлуатації.

Під час проектування та розроблення системи високу надійність можна отримати шляхом виконання наступних вимог: створення найбільш простих схем з найменшою кількістю функціональних елементів; забезпечення полегшених режимів роботи системи; застосування стандартизованих елементів; забезпечення простоти ремонту або заміни функціональних елементів.

Під час виробництва вимірювальних комплексів з метою забезпечення ймовірності його безвідмовної роботи необхідно: вдосконалювати технологію виробництва; здійснювати контроль характеристик та параметрів елементів, вузлів та систем в цілому після їх виготовлення; проводити передексплуатаційні випробування.

Заходи з підвищення надійності систем під час експлуатації можна розділити на такі групи: розроблення наукових методів та рекомендацій з експлуатації; аналіз зв'язків між проектуванням, виробництвом та експлуатацією системи; розроблення методів визначення та пошуку неполадок; аналіз взаємозв'язків роботи комплексів з іншим технологічним обладнанням; підвищення кваліфікації персоналу з обслуговування вимірювальних комплексів.

Якщо на етапі розроблення встановлюється, що існуюча схема не може забезпечити задану надійність, то в схему вводиться надлишковість – перевищення технічних параметрів системи у порівнянні з мінімально необхідною для даної структури. У автоматизованих системах найчастіше застосовуються надлишковості: режимна, параметрична та структурна.

Режимна надлишковість – спосіб підвищення надійності шляхом використання елементів системи у недовантаженому стані, наприклад, за потужністю, зусиллями, поверхневою зносостійкістю.

Параметрична надлишковість – спосіб підвищення надійності шляхом оптимального вибору значень параметрів функціональних елементів. Оптимальність заключається у знаходженні комбінації параметрів, які забезпечують найбільшу стабільність роботи елементів, наприклад, узгодження циклової послідовності контролю параметрів та швидкості транспортування деталей.

Структурна надлишковість – спосіб підвищення надійності шляхом резервування – введенням додатково паралельних елементів, які не є обов'язковими для роботи системи, наприклад, встановлення додаткового електроконтактного давача для контролю висоти деталей.

Для забезпечення надійності та стабільності характеристик важлива роль

відводиться технічному діагностуванню вимірювальних комплексів, що дозволяє визначати не тільки роботопридатність, а й прогнозувати стан системи на певний період часу.

14.3 Методика випробування і калібрування приладів активного контролю

Визначення метрологічних характеристик (похибок) приладу є найбільш відповідальною частиною випробувань, що включає перевірку і калібрування приладу. Для кожного приладу визначення похибок прописано в ТУ на прилад, а для приладів масового випуску розроблені Методики і ДСТУ на перевірку приладу. Одні прилади перевіряються за допомогою універсальних засобів, наприклад, кінцевих мір довжини (КМД), для інших розроблені спеціальні стенди та установки. Всі прилади повіряються і калібруються методом порівняння з КМД або точними зразковими атестованими засобами.

Калібрування приладів за допомогою КМД вимагає досвіду і досить трудомістке. В даний час випускають оптоелектронні прилади з дискретністю цифрового відліку 0,1 і 0,01 мкм і діапазоном вимірювання до 100 мм, наприклад, прилади типу METRO (Heidenhain, Швейцарія) за допомогою яких дуже зручно калібрувати деякі прилади, наприклад, індуктивні прилади активного контролю, вимірювальні скоби, головки і індуктивні перетворювачі.

Оптоелектронні прилади і цифрові індикатори, завдяки великому діапазону вимірювання, високій точності (похибка 0,2– 0,3 мкм), установці нуля (скидання на нуль) в будь-якій точці діапазону вимірювань і цифровому відліку надзвичайно зручні для настройки, перевірки і випробування вимірювальних приладів. Однією з умов калібрування за допомогою оптоелектронного зразкового приладу є забезпечення плавних однакових долемікронних одночасних переміщень, що задаються вимірювальним наконечником зразкового приладу і приладу, який калібрується. Це дозволяє порівняти їх покази і визначити похибку в будь-якій точці діапазону вимірювань. Слід відзначити, що цифрова індикація цих приладів ідеально підходить для повірки і калібрування, так як відлік за нею зручний і не має похибки.

Визначення похибки показів та інших характеристик точності приладів для шліфувальних верстатів, проводять за допомогою жорсткої стійки або пристосування (рис. 14.1), забезпеченого опорним столиком і кронштейном для кріплення вимірювального засобу, який перевіряється та зразкового цифрового індикатора (ємнісного, індуктивного, оптоелектронного), за яким відзначають переміщення столика. Столик має можливість плавних долемікронних зворотно-поступальних безлюфтових переміщень за допомогою вузла мікрометричною подачі. Двоконтантні скоби 2 і 8 або одноконтантну головку 9, які перевіряються за допомогою кронштейнів кріплять у робочому положенні до стійки 7. У стійку встановлюють цифровий

індикатор або оптоелектронну головку 6. Під контактні наконечники скоб і головок встановлюють блоки кінцевих мір довжини 3.

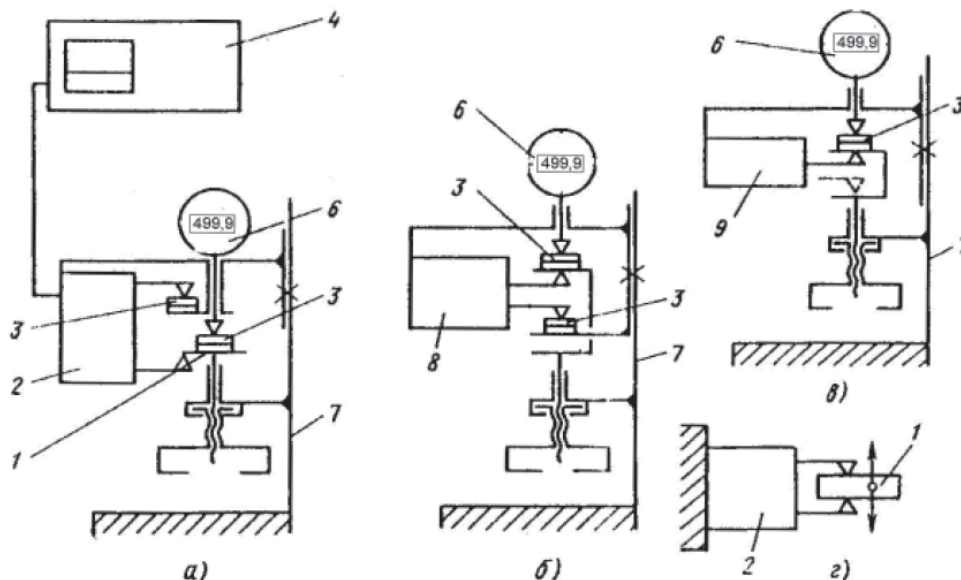


Рисунок 14.1 – Схема перевірки приладу: а, г – з двохконтактною скобою для валів; б – з двохконтактною скобою для отворів; в – з одноконтактною головкою

Прилад 4, який перевіряється і індикатор 6 встановлюють в нульове положення. Плавним переміщенням столика 1 на дисплеї 4 приладу, який перевіряється послідовно встановлюють покази, що відповідають заданим контрольним точкам і порівнюють їх з показами зразкового індикатора 6. Як видно зі схеми рисунку 14,1, при переміщенні столика одна губка скоби переміщається разом зі столиком і наконечником індикатора 6, інша – нерухома. Для усунення зазорів в кінематичному механізмі столика перед установкою в необхідне положення його переміщують в одному напрямку.

Зняття показів в кожній контрольній точці проводять три рази. Похибка показів на заданій ділянці відраховується від нульового показу і визначається найбільшою за абсолютним значенням різницею трьох відліків за цифровим дисплеєм 4 приладу, що перевіряється і зразковому індикатору 6. Отримані значення порівнюють з нормованими межами.

Параметри вихідного аналогового сигналу постійного струму і його похибки визначають за допомогою засобів, показаних на рисунку 14,1, а.

До аналогового виходу блоку управління 4 підключають цифровий вольтметр 5. Відповідно до встановленого для конкретного приладу номінального значення чутливості вихідного аналогового сигналу, вираженого у В/мм (або у мВ/мкм), покази вольтметра приводять до еквівалентних одиниць довжини (мкм).

Похибку вихідного аналогового сигналу в заданих контрольних точках відраховують від нульового рівня. Вона визначається різницею відліків переміщень наконечників скоби за зразковим індикатором 6 і приведеними до одиниць довжини відповідними відліками показів величини напруги за

цифровим вольтметром.

Сучасні цифрові блоки управління мають цифровий канал зв'язку (кодовий вихід, як правило, RS232). Для повноцінної перевірки цифрового каналу зв'язку необхідна спеціальна програма і комп'ютер, які дозволять послати в блок команду зі списку дозволених і отримати та візуалізувати відповідь із блоку. Тому виробник зазвичай докладає носій (флеш-пам'ять) з програмою і протоколом обміну.

При визначенні похибки (розмаху) спрацьовування команд електричне живлення до блоку управління підводять через регулятор напруги, щоб перевірити похибку приладу при заданих ТУ коливаннях напруги. Кінцеву команду приладу налаштовують поблизу нульового показу відлікового пристрою. Попередні команди налаштовують на спрацьовування в точках, які визначаються ТУ на прилад.

Контактний наконечник скоби, яка повіряється або головки приводять в зіткнення зі столиком стійки (рис. 14.1). Другий контактний наконечник двохконтактною скоби приводять до зіткнення з нерухомою опорою. Плавним переміщенням столика стійки забезпечують одночасне переміщення наконечника скоби 2 і індикатора 6 так, щоб відбувалося послідовне спрацьовування попередніх, а потім кінцевої команди. Столик переміщують в одному напрямку для виключення зазорів в кінематичному механізмі стійки.

За цифровим індикатором 6 відзначають покази, при якому відбувається спрацьовування відповідної команди приладу.

Всього для кожної команди проводять три серії випробувань по десять вимірювань (спрацьовувань команд) при номінальному, найбільшому і найменшому граничних значеннях напруги живлення (110; 121; 99) В або (220; 242; 198) В. Розмах спрацьовування (похибка спрацьовування) кожної команди визначається як найбільша різниця з 30 відліків за зразковим індикатором.

Похибку настройки визначають за допомогою засобів, що застосовуються для визначення похибки спрацьовування команд (рис. 14.1, а, б, в). До столика 1 стійки 7 підводять контактний наконечник приладу, що перевіряється 2, 8 або 9 таким чином, щоб на дисплеї блоку управління 4 встановився показ, близький до нульового. За допомогою клавіатури блоку управління 4 налаштовують рівень спрацьовування кінцевої команди на значення, що відповідає нулю приладу. Цю настройку вважають початковою (X_n).

Столик 1 стійки 7 плавно переміщують таким чином, щоб покази блоку 4 змістилися в плюсову область. Потім столик 1 переміщують в зворотному напрямку, і за зразковим індикатором 6 фіксують відлік по загорянню світлодіода в момент спрацьовування кінцевої команди. Переміщення столика 1 повторюють три рази. З отриманої серії трьох відліків обчислюють середнє арифметичне значення:

$$X_{01} = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3}. \quad (14.5)$$

За похибку настройки в першій серії випробувань приймають різницю між початковим показом індикатора δ , при якому проводилася настройка (X_{n1}), і отриманим середнім арифметичним значенням трьох відліків за шкалою індикатора (X_i).

Налаштування команди і визначення похибки настройки повторюють три рази:

$$\begin{aligned}\delta_1 &= X_{n1} - X_{01}; \\ \delta_2 &= X_{n2} - X_{02}; \\ \delta_3 &= X_{n3} - X_{03}.\end{aligned}\tag{14.6}$$

За похибка настройки δ_n приймають найбільшу за абсолютним значенням похибку, отриману в трьох серіях випробувань.

Зміщення настройки після встановленого числа циклів роботи приладу і спрацювання всіх команд визначають на обкатному стенді або центровому круглошліфувальному верстаті з застосуванням контрольної і фасонної оправок. Їх номінальний діаметр повинен приблизно відповідати середньому значенню діапазону настройки приладу. Випробування можуть проводитися і на іншому верстаті залежно від призначення приладу.

Контрольна оправка має дуже малу похибку форми в поперечному перерізі, а фасонна оправка має невеликі виступи для підйому наконечників скоби.

Скобу або головку, які перевіряються налаштовують за контрольною оправкою, що обертається зі швидкістю 30 – 60 об/хв так, щоб забезпечувався близький до нуля показ за шкалою блоку управління.

Потім замість контрольної оправки в центри стенду або верстату встановлюють фасонну оправку, приводять її в обертання і проводять 200 циклів попередньої обкатки. За кожен цикл повинні послідовно спрацювати всі команди і переміщатися контактні наконечники оснащення, що перевіряється відповідно з циклом обробки деталі на верстаті, тобто на весь діапазон вимірювання, наприклад, на 500 мкм.

Після обкатки на стенді встановлюють контрольну оправку, приводять її в обертання і фіксують покази блоку управління при десятикратному підводі контактних наконечників до контрольної оправки.

Початковий рівень настройки перед повірочною обкаткою (X_n) визначається як середнє арифметичне значення серії 10 відліків:

$$X_n = 0,1 \sum X_i.\tag{14.7}$$

Замість контрольної оправки в центри встановлюють фасонну оправку, що відповідає цільову призначенню приладу. Проводять повірочну обкатку до встановленого числа циклів вимірювання (наприклад 1500 циклів). Для приладів, що працюють з аретуванням контактних наконечників, передбачають їх періодичне аретування в процесі обкатки.

Після закінчення повірочної обкатки замість фасонної оправки встановлюють контрольну оправку і приводять її в обертання. Фіксують

покази блоку управління при десятикратному підводі контактних наконечників до контрольної оправки.

При наявності в приладі вихідного аналогового сигналу покази можуть зніматися також з цифрового вольтметра, підключеного до аналогового виходу блоку управління.

Рівень настройки після обкатки (X_k) визначають як середнє арифметичне значення серії з 10 відліків, тобто

$$X_k = 0,1 \sum X_i. \quad (14.8)$$

За зміщення рівня настройки приладу δ_{zn} приймають різницю між середніми арифметичними значеннями до і після повірочної обкатки приладу:

$$\delta_{zn} = X_n - X_k. \quad (14.9)$$

Для визначення зміщення настройки приладів-підналагоджувальників, які коригують розмірну настройку верстата за результатами контролю деталей після їх обробки, застосовують таку методику.

Готують деталь-зразок (міру), розмір якої не виходить за межі встановленого для даної операції поля допуску, наприклад, розмір відповідає середині поля допуску. Допуски геометричної форми міри не повинні перевищувати 10 – 20% нормованої межі зміщення настройки приладу. За потреби можна перевіряти підналагоджувальник за кількома мірами різного розміру.

Для обкатки приладу використовують партію оброблених деталей з полем розсіювання розмірів, що перевищують допуск, контрольований приладом. На підготовчій стадії проводять попередню настройку рівня спрацьовування керуючої команди «підналагоджування» за встановленою на вимірювальну позицію міру. На початковому етапі проводять попередню обкатку приладу протягом 20 – 30 хв, встановлюючи обкатувальні деталі на вимірювальну позицію вручну або за допомогою механізмів, що забезпечують автоматичне завантаження та орієнтацію деталей. Такт проходження деталей обкатки зазвичай узгоджують з продуктивністю контролю в процесі експлуатації приладу. Разом з обкатними деталями не менше 15 – 20 разів пропускають міру. За цифровим дисплеєм фіксують результати вимірювання міри і проводять коригування рівня настройки команди «підналагоджування» за допомогою клавіатури блоку. Визначають розмах показів і рівень настройки як середнє арифметичне (14.7).

При незмінній настройці протягом наступних 2 год через вимірювальну позицію пропускають партію обкатних деталей.

Після закінчення циклу обкатки знову виконують 10 циклів вимірювань міри і фіксують результати вимірювань. Визначають рівень настройки після обкатки як середнє арифметичне (14.7). Різниця значень рівня настройки до і після обкатки не повинна перевищувати нормованого значення зміщення настройки $\delta_{zn} = X_n - X_k$.

При необхідності таку операцію повторюють для кожної команди або

вибірково для декількох команд.

Визначення похибки показів при алгебраїчному підсумовуванні переміщень контактних наконечників двохконтактних скоб, що мають два індуктивних перетворювачі, або двох одноконтактних головок визначають шляхом однакових переміщень кожного наконечника в протилежні сторони. Контактні наконечники скоби 2 і цифрового індикатора 6 вводять в зіткнення з КМД, закріпленої на столику 1 (рис. 14.1, г). Налаштуванням скоби і блоку управління забезпечують нульовий показ приладу. Переміщенням столика верхньому і нижньому наконечникам скоби одночасно надають рівні переміщення в різних напрямках. При цьому відстань між контактними наконечниками залишається незмінною. Переміщення відраховують за цифровим індикатором 6. Покази блоку управління приладу, що перевіряється не повинні змінюватися $A - B = const$. Похибку показів на заданих ділянках переміщень визначають за відхиленням показів блоку управління від початкової (нульової) настройки приладу 4.

Тривалість безперервної роботи приладу перевіряють включенням в мережу електричного живлення на час безперервної роботи, регламентований в стандартах або ТУ. Результати випробувань вважаються позитивними, якщо після закінчення часу безперервної роботи прилад відповідає встановленим вимогам точності.

Розмах спрацьовування команд блоку управління в робочих умовах визначають із застосуванням кліматичної камери наступним чином.

Підключені до блоку управління випробувана скоба, індуктивний перетворювач або одноконтактний пристрій закріплюють в кронштейні стійки 7 (рис. 14.1) і встановлюють поза кліматичною камерою, в приміщенні, де забезпечуються нормальні умови застосування. Блок управління поміщають в камеру і встановлюють у ній нормальні кліматичні умови. Перевіряють розмах спрацьовування команд приладу в нормальних умовах.

Температуру в камері підвищують до верхнього значення температурних робочих умов застосування і підтримують її протягом 3 год. Визначають розмах спрацьовування команд.

Відносну вологість повітря і температуру в камері підвищують до значення, встановленого в робочих умовах застосування. Витримують прилад в зазначених умовах протягом 3 год. Після цього прилад включають в мережу і визначають розмах спрацьовування команд. Допустимі зміни температури в камері протягом часу визначення параметрів точності не повинні перевищувати 2 °С.

Прилад вимикають, блок витягають з камери і витримують в нормальних умовах протягом 3 год. Потім прилад включають і в цих же умовах визначають розмах спрацьовування команд.

Вважають, що прилад витримав випробування на стійкість до впливу верхніх значень температури і вологості в робочих умовах застосування, якщо розмах спрацьовування команд не перевищує нормовані значення.

Аналогічним чином проводять перевірку приладу на стійкість до впливу

нижнього значення температури робочих умов застосування.

Точність обробки, яку забезпечує система шліфувальний верстат-прилад активного контролю, визначають в робочих умовах застосування.

Перед випробуваннями встановлюють правильність функціонування і взаємодії всіх вузлів приладу і верстата. Дуже важливо, щоб встановлені режими різання забезпечували відхилення геометричної форми оброблених поверхонь не більше (25 – 50) % допуску розміру.

В процесі випробувань партію деталей обробляють в автоматичному чи напівавтоматичному режимах. Число деталей в партії, режими різання, кількість випробовуваних приладів, умови їх післяопераційного контролю і засоби вимірювання оброблених деталей встановлюються технічною документацією на прилад і верстат.

Зазвичай за розмір обробленої деталі приймають півсуму найбільшого і найменшого розмірів у вимірюваному скобою поперечному перерізі, тобто частково виключають відхилення форми оброблених деталей. Такий прийом краще відображає точність приладу активного контролю, але не визначає точність системи верстат-прилад, так як для визначення точності обробки не слід виключати похибку форми оброблених деталей.

Точність обробки, що забезпечується верстатом, оснащеним приладом активного контролю, визначають полем розсіювання розмірів партії оброблених деталей.

Поле розсіювання розмірів в партії зі 100 і більше деталей рекомендується оцінювати за формулою:

$$\omega = 4S, \quad (14.8)$$

де ω – поле розсіювання розмірів; S – середньоквадратичне відхилення розмірів партії оброблених деталей, що обчислюється за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n}}, \quad (14.9)$$

при $n = 100 - 150$.

У разі помітного зміщення рівня настройки Δ_{zn} в партії оброблених деталей слід його враховувати як $\Delta_{zn} = |X_i - X_{max}|$, де X_{max} – найбільше відхилення центру розсіювання миттєвої вибірки в процесі обробки від відповідного значення X_i на початку обробки.

Якщо центри розсіювання розмірів зміщуються в часі за лінійною залежністю, то поле розсіювання ω можна визначити як

$$\omega = \Delta_{zn} + 4S. \quad (14.10)$$

Середнє відхилення S з достатньою для практики точністю можна визначити методом розмахів або іншими методами.

Точність обробки вважається задовільною, якщо поле розсіювання розмірів оброблених деталей не виходить за межі, встановлені документацією на прилад.

Випробування приладів на верстаті трудомісткі і займають багато часу. Тому фірми мають багато різних стендів і пристосувань, на яких випробовують прилади та їх вузли. Є й стенди для випробування в динамічному режимі, схожому на режим експлуатації.

При випробуваннях приладів в динамічному режимі бажано повніше імітувати умови їх експлуатації. Відомо, що при роботі приладу на верстаті його наконечники контактують з обертовою або прямолінійною поверхнею контрольованої деталі, яка переміщається, що має відхилення від круглості, циліндричності або прямолінійності.

Швидкість переміщення контрольованої поверхні зазвичай становить від 2 до 50 м/хв. Відхилення форми контрольованої поверхні можуть досягати декількох мікрометрів. В процесі обробки у міру зняття припуску під контактними наконечниками приладу безперервно змінюється розмір зі швидкістю до 100 мкм/с на початку обробки і майже до нульового значення в кінці циклу.

Таким чином, під контактними наконечниками приладу відбуваються одночасно невеликі зміни розміру (відхилення форми) з відносно високою частотою (до 10 Гц) і порівняно повільна безперервна зміна розміру.

При стендових випробуваннях імітацію зазначених впливів здійснюють різними способами: переміщенням контактних наконечників уздовж конічної, овальної, шліцьової оправок, що обертаються.

При дослідних та приймальних випробуваннях нових приладів їх перевірку в динамічному режимі часто здійснюють на стенді з обертовою конусною оправкою.

В сучасних приладах активного контролю для шліфувальних верстатів застосовують мікропроцесорні або комп'ютерні цифрові блоки управління та індуктивні перетворювачі. При випуску і налагодженні приладу і при заміні перетворювача після ремонту необхідно провести його лінеаризацію (калібрування), встановивши задану дискретність цифрової індикації, діапазон вимірювання і, головне, задану лінійність характеристики у всьому діапазоні вимірювання. Мікропроцесорні електронні блоки забезпечені програмою, що дозволяє провести лінеаризацію характеристики перетворювача.

У вимірювальному оснащенні приладів активного контролю застосовують диференціальні і рідше недиференціальні індуктивні перетворювачі. Їх вбудовують безпосередньо у вимірювальну оснащення приладів (скоби, головки), і лінеаризацію перетворювачів проводять в зборі разом з оснащенням, що має каретки, важелі, державки та наконечники. І, головне, вимірювальне оснащення (важелі) не завжди має передавальне відношення 1:1.

Калібрувальні переміщення надають наконечнику вимірювального оснащення (рис. 14.1), встановленого в робочому положенні. Таким чином, при калібруванні враховують дійсні передавальні відношення кінематичних ланок (важелів, кареток) вимірювального оснащення.

Процедура калібрування і лінеаризації полягає в тому, що в

мікропроцесорний блок вводять задані точки, які визначають «ідеальну» характеристику приладу (в даному випадку лінійну), її діапазон і чутливість відповідно до таблиці 14.1.

Таблиця 1 – Калібрувальні точки

Номер калібр. точки	11	22	33	34	55	66	77	78	79	10	11
Розмір, мкм	-100	-50	-10	0	10	50	100	200	300	400	500

Потім переміщують шток індуктивного перетворювача або наконечник вимірювального оснащення на визначені інтервали і, встановлюючи його в задані точки «ідеальної» характеристики, запам'ятовують в блоці вихідні сигнали перетворювача в кожній точці. Таким чином, вихідна характеристика приладу наближається до заданої (лінійної) характеристики.

Лінеаризація індуктивних перетворювачів може проводитися різними методами, наприклад, методом кусочно-лінійної апроксимації. Для лінеаризації кожного перетворювача вимірювальне оснащення, в яке вбудований перетворювач, встановлюють на стійку зі столиком (рис. 3) так, щоб вимірювальному наконечнику можна було задати точні калібрувальні переміщення тонкою подачею столика. Для контролю заданих переміщень на стійку встановлюють цифровий індикатор з дискретністю відліку 0,1 мкм з діапазоном показів не менше 2,0 мм (зазвичай 5 – 20 мм) і з похибкою $\pm 0,2$ мкм.

Для лінеаризації індуктивного перетворювача необхідно спочатку зняти його характеристику, тобто визначити залежність його вихідного сигналу від переміщення наконечника вимірювальної оснастки. В цьому режимі вихідний сигнал, що надходить безпосередньо з перетворювача через аналого-цифровий перетворювач (АЦП), відображається на дисплеї в умовних одиницях (не в мкм). За плавністю і пропорційністю зміни цього сигналу залежно від переміщення наконечника приладу, який калібрується можна судити про справність та лінійність перетворювача. Крім того, знята характеристика дозволяє визначити положення електричного нуля перетворювача, від якого проводиться калібрування приладу. Це дуже важлива обставина, що дозволяє перевірити справність перетворювача прямо на верстаті і не допускає відходу настройки з робочої ділянки характеристики.

Таким чином, калібрування приладу починають з установки столика стійки, індуктивного перетворювача і цифрового індикатора в нульове положення електричного нуля індуктивного перетворювача за його вихідним сигналом в умовних одиницях. Число точок калібрування вибирається залежно від конструкції перетворювача або вимірювального оснащення, діапазону вимірювання, необхідної точності лінеаризації і точності видачі команд. При зменшенні інтервалів між точками точність лінеаризації підвищується. Тому на точному діапазоні поблизу нуля (від -10 до +50 мкм) точки калібрування слід задавати через менші інтервали. При використанні

недиференціальних перетворювачів, що мають нелінійну характеристику, призначають більше число точок лінеаризації. Диференціальні перетворювачі досить лінійні на всій робочій ділянці в діапазоні $\pm 0,5$ мм, і для їх калібрування в більшості випадків достатньо 5 – 7 калібрувальних точок.

Калібрування починається з установки перетворювача за допомогою столика в положення електричного нуля (за вихідним сигналом в умовних одиницях). У цьому положенні встановлюють на нуль зразковий цифровий індикатор 6 (рис. 14.1). Зазвичай використовується робоча ділянка характеристики приладу активного контролю, що становить 600 – 1000 мкм. Власне діапазон вимірювання приладу коливається від -100 до $+500$ мкм (точний діапазон: від -10 до $+50$ мкм). Слід враховувати також можливість коригування нуля (± 100 мкм) і збільшити діапазон калібрування на цю величину.

Калібрування починають від першої, наприклад, мінусової точки обраної робочої ділянки характеристики індуктивного перетворювача (-100 мкм). Цю точку встановлюють переміщенням столика (рис. 14.1) за показами зразкового цифрового індикатора.

У цій точці вводять в пам'ять блоку управління сигнал перетворювача, що відповідає точці -100 мкм (натисканням кнопки «Введення»). Потім послідовно за допомогою столика за показаннями зразкового цифрового індикатора переміщують вимірювальний наконечник приладу на задані калібрувальні інтервали (табл. 14.1), і в кожній точці вводять в пам'ять блоку вихідний сигнал перетворювача.

Після проходження всіх заданих точок робочої характеристики приладу і запам'ятовування в блоці вихідних сигналів перетворювача, що відповідають цим точкам, прилад має лінійну характеристику із заданою чутливістю в заданому діапазоні вимірювання. Після проведення калібрування пам'ять блоку автоматично блокується. Калібрування запам'ятовується навіть при виключенні живлення блоку і не може бути змінено без введення пароля.

Точність калібрування (лінеаризації) залежить від точності переміщення вимірювального наконечника засобу, який калібрується на задані інтервали за допомогою столика стійки за показами цифрового індикатора.

Контрольні питання

1. Як виконується перевірка похибки вихідного сигналу АВМ?
2. Як визначається розмах показів?
3. Як перевіряється зміщення рівня налагодження в АВМ?
4. Дайте визначення надійності?
5. Що таке роботопридатність?
6. Як перевіряються і калібруються прилади активного контролю?
7. У чому полягає процедура калібрування і лінеаризації?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов В. О., Дегтярьов І. М. Технологічні основи гнучких автоматизованих виробництв: навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2022. 203 с.
2. Єремєєв І. С., Кисельов В. Б. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: навч. посіб. Одеса: Олді+, 2022. 324 с.
3. Гуржій А. М., Нельга А. Т., Співак В. М., Ітякін О. С. Основи автоматики та робототехніки: навч. посіб. URL: <https://surl.li/ieuu9p> (дата звернення: 27.08.2026).
4. Діордієв В. Т., Кашкарьов А. О., Дубініна С. В., Новіков Г. В. Засоби автоматизації електротехнічних комплексів: навч. посіб. URL: <https://surl.li/jhwcdt> (дата звернення: 27.08.2026).
5. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічний об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. URL: <https://surl.li/ggfnse> (дата звернення: 27.08.2026).
6. Хорольський, В. П., Коренець Ю. М. Автоматизація виробничих процесів: підручник. Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2022. 400 с.
7. Денисюк В. Ю. Методологія оцінювання точності блоків інформаційно-вимірювальних систем на основі аналітико-ймовірнісного прогнозування. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк, 2025. Вип. 27. С. 44-51.
8. Денисюк В. Ю. Аналіз особливостей конструювання та метрологічного забезпечення приладів активного контролю. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк, 2024. Вип. 24. С. 32-37.
9. Денисюк В. Ю., Пташенчук В. В. Методика проєктування високоточних оптико-електронних приладів для безконтактного автоматичного вимірювання лінійних переміщень. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк, 2023. Вип. 23. С. 22-28.
10. Пташенчук В. В., Денисюк В. Ю. Розроблення блоку цифрової індикації електроакустичного твердоміра. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк, 2023. Вип. 22. С. 122-126.
11. Денисюк В. Ю., Пташенчук В. В. Аналіз похибок обробки деталей при автоматичному розмірному контролі. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк, 2023. Вип. 22. С. 31-37.
12. Денисюк В. Ю., Пташенчук В. В. Аналіз методів метрологічного забезпечення високоточного контролю похибок механічних пристроїв переміщень об'єктів. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк, 2022. Вип. 21. С. 20-25.

Автоматизовані вимірювальні комплекси : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка денної та заочної форм навчання / уклад. В.Ю. Денисюк. Луцьк : ЛНТУ, 2026. 120 с.

Комп'ютерний набір та верстка:

В. Ю. Денисюк.

Редактор: в авторській редакції.

Підп. до друку «___» _____ 2026 р.

Формат 60x84/16. Папір офс. Гарн. Таймс.

Ум. друк. арк. 7,5. Обл. – вид. арк. 7,5.

Тираж 50 прим. Зам. _____.

Відділ іміджу та промоцій
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75