

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



АВТОМАТИЗОВАНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ

Методичні вказівки до практичних занять
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.

А-18 **Автоматизовані вимірювальні комплекси** : методичні вказівки до практичних занять 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. 76 с.

Методичне видання складене відповідно до діючої програми курсу «Автоматизовані вимірювальні комплекси». Представлено елементи систем автоматичного контролю, системи активного контролю, пасивні системи автоматичного контролю, контрольно-сортувальні автомати, координатно-вимірювальні системи. Призначено для здобувачів вищої освіти спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка денної та заочної форми навчання.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	6
Практичне заняття № 1	
Електроконтактні вимірювальні перетворювачі	5
Практичне заняття № 2	
Фотоелектричні вимірювальні перетворювачі	18
Практичне заняття № 3	
Пневматичні вимірювальні перетворювачі	25
Практичне заняття №4	
Індуктивні вимірювальні перетворювачі	39
Практичне заняття №5	
Пневматичні управляючі прилади активного контролю	48
Практичне заняття №6	
Електронні управляючі прилади активного контролю	52
Практичне заняття №7	
Системи автоматичного підналагодження	55
Практичне заняття №8	
Координатно-вимірювальні машини	57
Практичне заняття №9	
Координатно-вимірювальні роботи	59
Практичне заняття №10	
Контрольно-сортувальні автомати	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75

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 методичних вказівках до практичних занять з дисципліни «Автоматизовані вимірювальні комплекси» розглядаються елементи систем автоматичного контролю, системи активного контролю, пасивні системи автоматичного контролю, контрольно-сортувальні автомати, координатно-вимірювальні системи. 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.

Практичне заняття № 1

ЕЛЕКТРОКОНТАКТНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Мета роботи: Вивчити принцип дії, ознайомитись з конструкцією і методикою налагодження електроконтактного перетворювача.

Прилади і обладнання:

1. Електроконтактний перетворювач мод. 228.
2. Стійка мікрокаторна С-1 з кронштейном.
3. Багатооберткова вимірвальна головка МИГ-1.
4. Блок електричних реле.

Теоретичні відомості

Принцип дії електроконтактних перетворювачів оснований на стрибкоподібній зміні опору електричного кола при замиканні або розмиканні електричних контактів.

Електроконтактні перетворювачі за призначенням поділяються на граничні, які служать для визначення попадання розміру контрольованої деталі у полі допуску, і амплітудні, призначені для контролю відхилення форми і правильності взаємного розташування поверхонь.

За кількістю контактних пар електроконтактні датчики (ЕКД) поділяються на одноконтактні, двоконтактні, трьохконтактні, багатоконтактні.

Залежно від передавального відношення від вимірвального наконечника до електричних контактів розрізняють:

- 1) безважільні ЕКД ($i = 1$) (рис. 1.1);

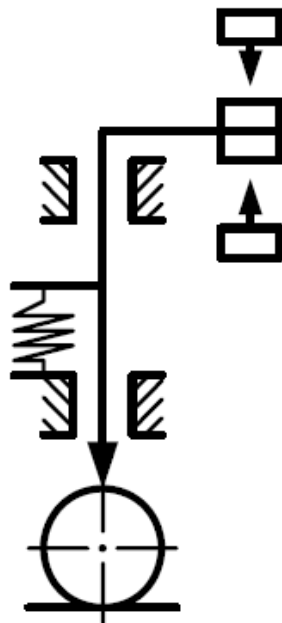


Рисунок 1.1 – Безважільний електроконтактний датчик

- 2) важільні ЕКД ($i > 1$) (рис. 1.2).

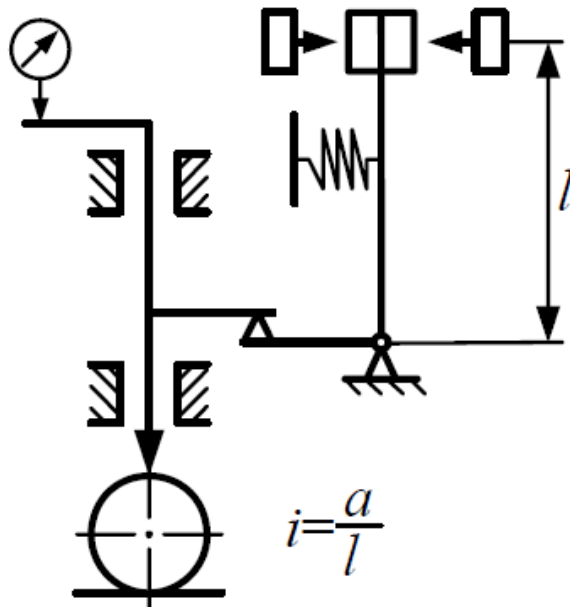


Рисунок 1.2 – Важільний електроконтактний датчик

Безважільні датчики прості, мають малі розміри і масу, а при розташуванні контактних пар на поздовжній осі вимірювального наконечника – найбільшу точність контролю.

Важільні датчики, як правило, складні і мають великі розміри в порівнянні з безважільними. Передавальне відношення цих датчиків зазвичай не перевищує 50. З його збільшенням знижується похибка настройки мікрометричних гвинтів, але зростає число передавальних ланок, що в свою чергу вносить деякі додаткові похибки. Додаткові передавальні ланки, крім того, збільшують динамічні похибки. Застосування важільних датчиків з великими i доцільно в разі оснащення останньої ланки не тільки контактами, але і стрілкою-показчиком для візуального відліку.

Важільні схеми датчиків дозволяють сконструювати і багатоконтактні системи для багатодіапазонного розсортування виробів. Більшість конструкцій важільних датчиків має один передавальний важіль.

Похибка контролю при i важелях складе:

$$\Delta_i = \frac{Z_1}{n} + \frac{Z_2}{n_1 \cdot n_2} + \dots + \frac{Z_i}{n_1 \cdot n_2 \dots n_i} + \frac{y}{n_1 \cdot n_2 \dots n_i}, \quad (1.1)$$

де $n_1, n_2, \dots, n_i$ – передавальні відношення першого, другого і т.д. до i -го важеля;

$Z_1, Z_2, \dots, Z_i$ – похибка першого, другого і т.д. до i -го важеля;

y – похибка контактної пари (похибка настройки).

Таким чином, похибка настройки зменшується у n разів (n – загальне передавальне відношення), а похибка передачі зростає пропорційно n . Тому, якщо необхідно дотримуватися передавального відношення n за допомогою одного важеля, то похибка становитиме

$$\Delta_1 = \frac{Z_1 + y}{n}. \quad (1.2)$$

Якщо теж саме передавальне відношення створюється двома важелями, то ця похибка буде рівна:

$$\Delta_2 = \frac{Z_1}{n_1} + \frac{Z_2 + y}{n}. \quad (1.3)$$

Отже, при однаковій похибці важелів $Z_1 = Z_2$ передача з двох важелів менш точна на величину Z_1/n_1 , так що її слід застосовувати лише в тих випадках, коли обмежені розміри не дозволяють використовувати довші плечі одного важеля.

Якість роботи ЕКД в значній мірі залежить від правильного режиму роботи і конструкції самих контактів. Цей режим визначається наступними фізичними явищами, що відбуваються в контактних парах: пробоем газового проміжку, ерозією і корозією контактів.

Пробій газового проміжку між контактами. Напруга, при якій відбувається пробій газового проміжку між контактами, пов'язане з параметрами контактів наступною залежністю (для повітря) (рис. 2.3):

$$U_0 = 365 \cdot Pl / \left[\frac{14,6 \cdot Pl}{l \cdot n \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)} \right], \quad (1.4)$$

де l – відстань між контактами, см;

P – тиск газу (повітря), що знаходиться між контактами, кг/см²;

γ – число електронів, що звільняються з металу катода одним позитивним іоном при ударі об поверхню катода.

Величина напруги, при якій відбувається пробій газового проміжку, в загальному випадку залежить від складу газу і матеріалу катода.

Таким чином, при напрузі на контактах меншій, ніж U_0 , пробій не може наступити ні при яких відстанях між контактами (рис. 1.3).

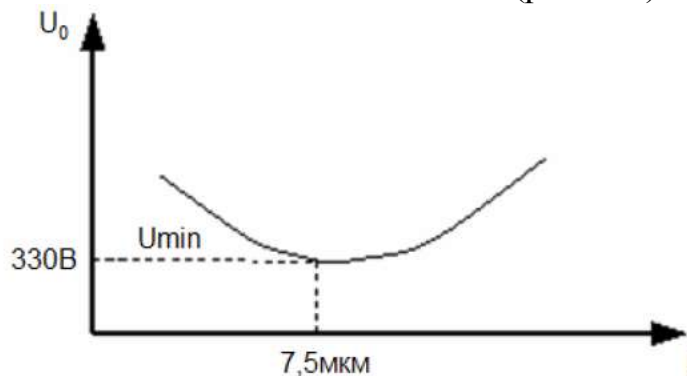


Рисунок 1.3 – Залежність напруги пробією газового проміжку від відстані між контактами

Ерозія контактів. Ерозія (електричний знос) відбувається при утворенні дуги і іскри між контактами, так і при їх відсутності. Ерозія другого типу

відбувається через перенесення частинок металу з анода на катод. Тоді при розмиканні і замиканні контактів під дією електричних сил між контактами утворюються металеві «містки», які або плавляться, або при розмиканні розриваються і залишаються на катоді, в результаті чого на аноді виходять поглиблення, а на катоді – виступи. Особливо великою ерозія контактів буде при утворенні дуги між контактами. Встановлена залежність між струмом і напругою дуги:

$$U_{\text{д}} = U_0 + \frac{P_{\text{д}}}{i - i_{\text{м}}}, \quad (1.5)$$

де $U_{\text{д}}$ – напруга дуги;

U_0 – гранична мінімальна напруга, що відповідає потенціалу іонізації парів металу анода;

i – струм дуги;

$i_{\text{м}}$ – граничний мінімальний струм дуги;

$P_{\text{д}}$ – мінімальна потужність, що залежить від прихованої теплоти випаровування матеріалу анода.

Якщо контакти працюють в ланцюзі, що має опір R та індуктивність L при постійній напрузі джерела струму, то для цих умов буде справедливе рівняння:

$$U = iR + L \frac{di}{dt} + U_{\text{д}}. \quad (1.6)$$

Дуга буде стабільно горіти, якщо струм i незмінний, тобто $\frac{di}{dt} = 0$, тоді

$$U_{\text{д}} = U - iR.$$

Таким чином, необхідною і достатньою умовою неможливості утворення стабільної дуги для будь-яких значень струму є виконання нерівності $U - iR < U_{\text{д}}$. Виконати цю умову можна відповідним підбором величини опору R у ланцюзі контактів. Найчастіше застосовують спеціальні електричні схеми іскрогасіння.

Корозія і вибір матеріалу контактів. Корозія контактів виникає головним чином із-за дуги розмикання. В процесі роботи на контактах з'являються оксидні, сульфідні та інші плівки; при цьому поверхня контактів руйнується і опір зростає.

У якості матеріалу для контактів застосовуються платина, золото, срібло, вольфрам і мідь. Платина, золото і срібло мають високу провідність, однак їх зносостійкість до ерозії невелика. Тому їх застосовують в датчиках з великим передавальним відношенням, в яких контактний тиск становить 15 – 20 г.

Вольфрамові контакти мають високу твердість, мало зношуються, майже не піддаються ерозії. Однак з плином часу вони окислюються і збільшують опір. Зміна опору вольфрамових контактів може бути виражена такою залежністю:

$$\Delta Rk = r \cdot N^n, \quad (1.7)$$

де ΔRk – збільшення опору контактів;

N – число розмикань;

r і n – постійні величини, для вольфраму $r = 8 - 10^2$; $n = 0,6$.

Контактне зусилля в цьому випадку має бути $> 30 - 50$ г. Вольфрамкові контакти доцільно застосовувати у безважільних датчиках і датчиках з передавальним відношенням не більше 5: 1.

На роботу ЕКД впливає також конструктивне оформлення електричних контактів. Контактні пари повинні мати випуклу (сферичну) форму великого радіусу одного контакту і плоску форму іншого (рис. 1.4). При такому виконанні контактних пар на точність настройки датчика менше впливають люфти регульованих контактів.

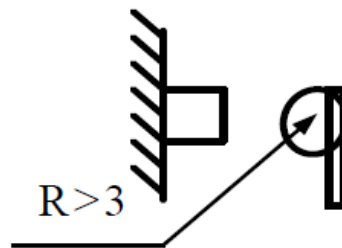


Рисунок 2.4 – Конструктивне оформлення електричних контактів

Найчастіше регульовані контакти кріпляться в корпусі датчика, а нерегульовані – на рухомих деталях. Нерегульовані контакти можуть бути жорсткими, рухливими (для створення вільного ходу) і плаваючого типу з фрикційним оформленням електронною парою. Регульовані контакти служать для точного налаштування датчика (рис. 1.5).

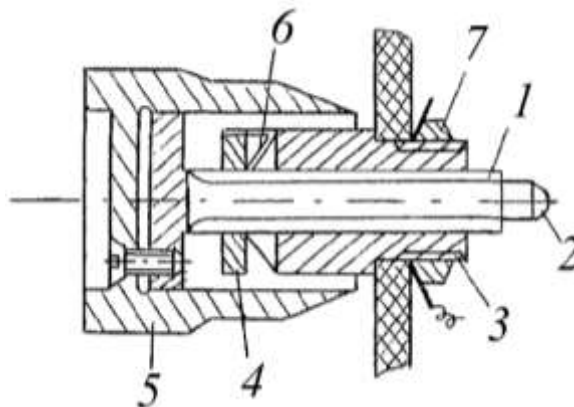


Рисунок 1.5 – Конструкція регульованих контактів: 1 – мікрометричний гвинт; 2 – контакт; 3 – мікрометрична гайка; 4 – гайка (разом з пружиною 6 служить для вибору люфту в різьбовій парі); 5 – головка гвинта (лімба); 6 – розпірна пружина; 7 – гайка кріплення вузла в корпусі

При точному регулюванні прагнуть не тільки зменшити крок гвинтової пари, а й зробити диференціальними гвинтові пари.

Багатокомандні електроконтактні перетворювачі. Розглянемо конструкції ЕКД. Найбільш простий, має малі розміри і масу важільний датчик моделі 233 (рис. 1.6). Він належить до групи малогабаритних датчиків і призначений для установки в контрольних автоматах. Датчик складається з

корпусу 1, вимірювального штока 2, важеля 3 з рухомими контактами 4 і 5, регульованих контактів 6 і 7.

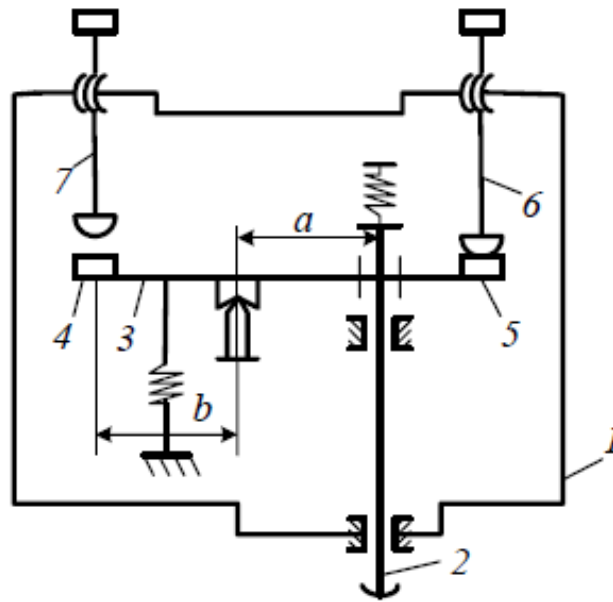


Рисунок 1.6 – Електроконтактний датчик моделі 233

Вимірювальне зусилля не перевищує 300 гс. Похибка вимірювання ± 1 мкм. Сортуює вироби на три групи: «придатні», «брак +», «брак –». Недоліком цього датчика є те, що останній не дозволяє одержувати велику кількість команд, і малий інтервал поділки шкал настроювальних гвинтів ускладнює настройку при введенні поправки на розмір настроювальної деталі.

Електроконтактний датчик І-29 призначений для багатодіапазонного сортування деталей. Залежно від поставленого завдання датчик може проводити сортування деталей на 50 і більше груп з інтервалом 1 – 2 мкм. Як видно зі схеми (рис. 1.7), основна відмінна риса датчика полягає в тому, що один з його контактів 5 виконаний у вигляді архімедової спіралі, на одній осі якої розташований повзун 6, що ковзає за контактною схемою.

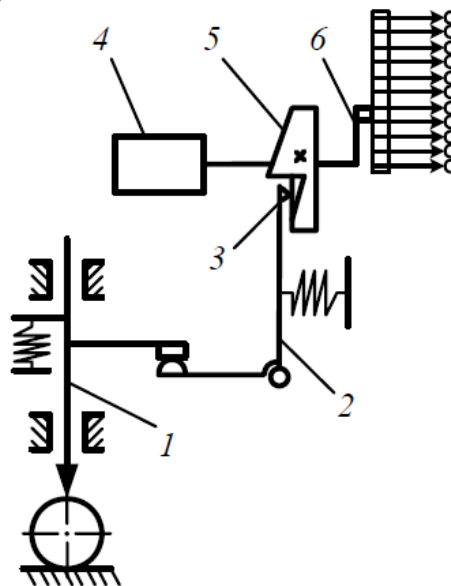


Рисунок 1.7 – Електроконтактний датчик І-29

Процес контролю і сортування відбувається наступним чином. На вимірювальну позицію вводиться контрольована деталь, на яку спирається вимірювальний стержень 1. Залежно від розміру деталі вимірювальний шток, важіль 2 і контакт 3 займають визначене положення. Після цього включається серводвигун 4, що обертає спіральний контакт і повзун. При визначеному куті повороту спіральний контакт 5 замикається з контактом 3; при цьому подається командний імпульс на лічильний пристрій з метою фіксації числа контактів, через які пройшов повзун від нульового положення до моменту замикання контактів. Число лічених контактів відповідає номеру сортувальної групи. Тривалість вимірювального періоду не перевищує 1 с; похибка $\pm 0,3$ мкм, $P_{вим.} \sim 250 - 300$ гс.

Сортувальний датчик БВ-929 з електромагнітним керуванням, розроблений в Бюро взаємозамінності (БВ), дозволяє простими методами проводити сортування деталей на велике число груп. Принципова схема датчика зображена на рисунку 1.8.

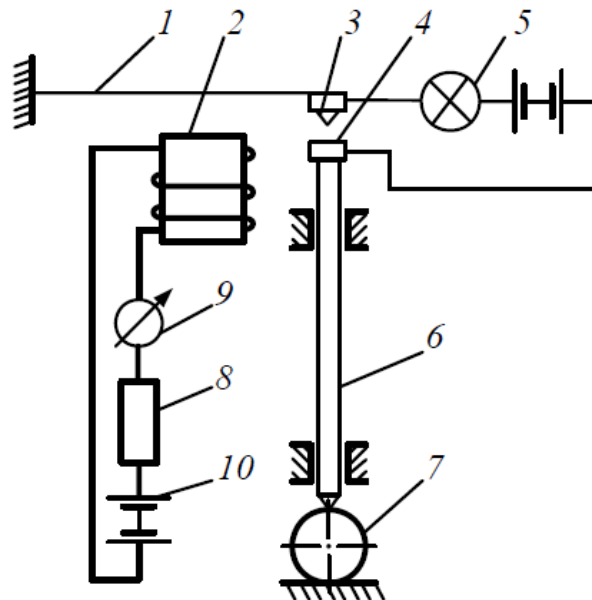


Рисунок 1.8 – Принципова схема сортувального датчика БВ-929 з електромагнітним управлінням

Сталева пружина 1, закріплена у вигляді консольної балки, притягається електромагнітом 2. Величина прогину пружини залежить від притягуючої сили електромагніта, яка в свою чергу залежить від величини струму, що протікає через обмотку електромагніту. На вільному кінці пружини закріплений контакт 3. На вимірювальному стержні 6 поміщений другий контакт 4. Замикання контактів реєструється за допомогою електричної лампочки 5. Струм, що протікає через обмотку електромагніту, надходить від джерела живлення 10, регулюється елементом 8 і контролюється приладом 9. Розмір контрольованого виробу 7 визначає положення контакту 4, а струм, що протікає через обмотку електромагніту, визначає прогин пружини 1, тобто положення контакту 3.

При визнаному струмі, що протікає через обмотку, контакти замкнуться.

Таким чином, розмір виробу і величина струму взаємопов'язані, що дозволяє сортувати вироби на велике число груп з високою точністю.

На практиці зміна струму відбувається шляхом перемикання резисторів автоматичного релейного ланцюга. При послідовному спрацьовуванні ланок релейного ланцюга контакт на пружині датчика зближується з контактом на вимірювальному штоці, стрибком переміщаючись на величину однієї групи при спрацьовуванні кожного наступного реле. Робота релейного ланцюга миттєво припиняється на тій ланці, на якій сталося замикання контактів датчика. На світлофорному табло при цьому загоряється лампа, що сигналізує номер розмірної групи. Одночасно з цим видається команда на магніт, що відкриває відповідний потік, куди направляється проконтрольована деталь. Межі сортування 0 – 0,2 мм. Мінімальний розмір групи 1,5 – 2 мкм. Похибка сортування $\pm 0,5$ мкм.

На базі мініметра «Карл-Цейс» в Бюро взаємозамінності розроблений багатоконтактний важільний датчик моделі БВ-6048 (рис. 1.9).

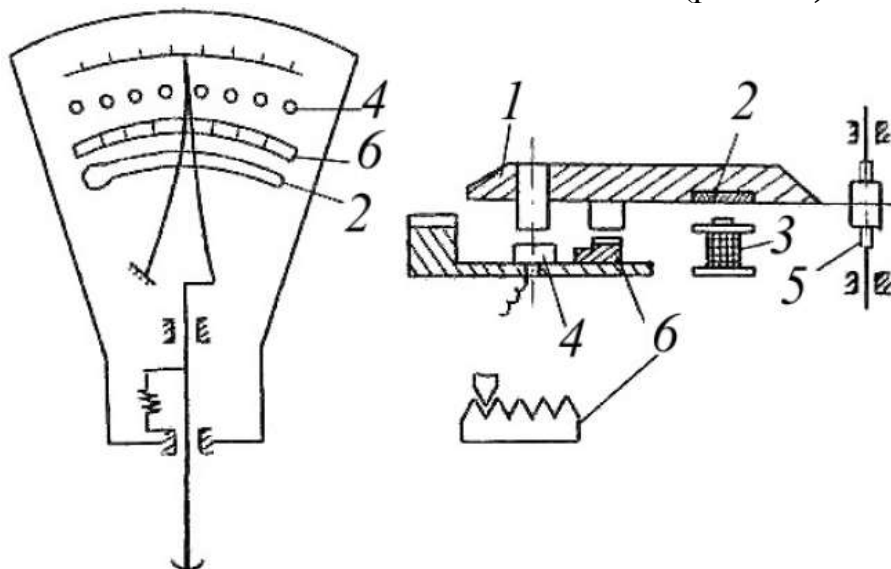


Рисунок 1.9. Принципова схема багатоконтактного датчика моделі 6048

Стрілка 1 несе на собі пластину-якор 2 і в спокійному стані притягується електромагнітом 3, замикаючи відповідний контакт ряду 4. Показчик-стрілка 1 з магнітним якорем кріпиться за допомогою плоскої пружини до осі 5. При включенні електромагніта 3 стрілка притягується і замикає один з контактів ряду 4. Для того щоб не замкнулося відразу два контакти, служать ніж і гребінка 6. Стрілка залишається притягнутою до тих пір, поки під вимірювальний стержень поступить наступна деталь. Після притягнення стрілки на контакти датчика подається струм і видається команда на віднесення деталі до певної сортувальної групи. Подача струму на контакти датчика в той момент, коли вони замкнуті, зменшує їх ерозійний знос і дозволяє застосовувати велике електричне навантаження (зазвичай подається напруга до 40 В і струм до 0,5 А на контакти, які замикаються в русі датчика).

Електричні схеми включення електроконтактних перетворювачів. Електричні схеми включення електроконтактних перетворювачів можуть бути

сигнальні, що подають сигнал придатності або браку за допомогою сигнальних лампочок різного кольору або звуків; і керуючі, що виконують включення і виключення різних механізмів управління (відкривання заслінок, включення електромагнітів тощо).

Схеми виконуються двох основних видів:

- 1) з «силовим контактом»;
- 2) з «мережевим контактом» (розвантажувального типу).

У схемах першого виду передбачається таке включення ЕКД у виконавчу схему, при якому керовані контакти безпосередньо включають в ланцюг виконавчі реле, сигнальні лампи тощо.

У схемах з «мережевим контактом» ЕКД включається в ланцюг мережі електронної лампи, а виконавчий орган (реле) – в анодний ланцюг лампи.

Такі схеми більш зручні, хоча і більш складні. Поділ кіл вимірювальних контактів і контактів виконавчого органу дає можливість підбирати параметри цих ланцюгів таким чином, щоб отримувати найвигідніший режим роботи як вимірювальних контактів ЕКД, так і контактів управління виконавчим органом.

Прикладом схем першого типу може служити електрична схема світлофорного блоку до ельміллімессу фірми «КарлЦейс» (рис. 1.10).

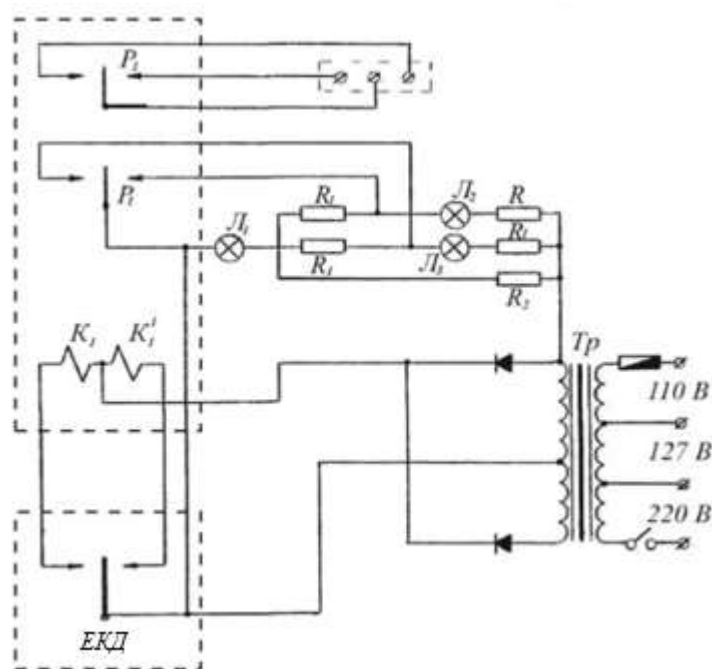


Рисунок 1.10 – Схема включення електроконтактного перетворювача з «силовим контактом»

Застосовується для ЕКД з великим передавальним відношенням (ельміллімесс і ельценти́месс).

У блоці, призначеному для підключення ельміллімесса, контакти датчика включені за схемою силового контакту в ланцюг постійного струму з типовим поляризованим реле, контактні пари P_1 і P_2 якого включають лампи L_1 , L_2 і L_3 світлофора. Поляризоване реле має додаткову контактну пару для

підключення виконавчого пристрою, яка отримує команду в момент замикання одного з контактів датчика. Затискачі від додаткових контактів реле виведені на гніздо на задній стінці корпусу блоку. Контакти витримують напругу 24 В, струм 2 А. Блок живиться від мережі змінного струму. На контакти датчика подається напруга 6 В при силі струму 1400 мкА.

Приклад схем з «мережевим контактом» – схема світлофорного блоку моделі БВ-1058 (рис. 1.11).

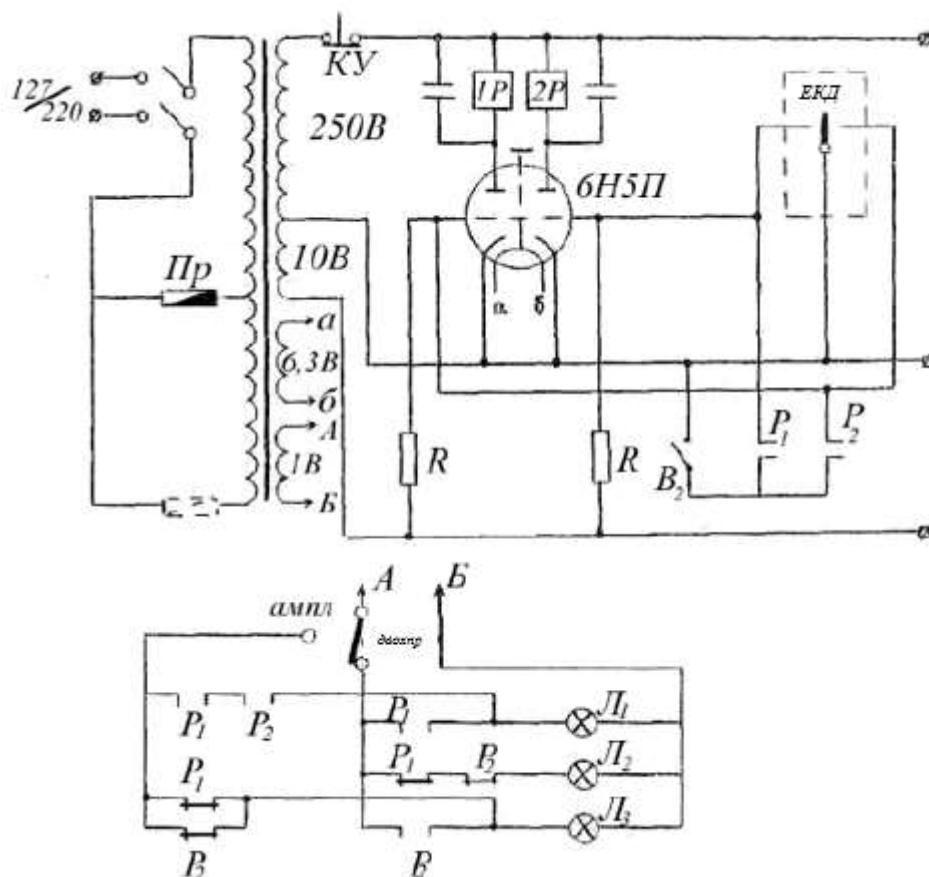


Рисунок 1.11 – Схема включення світлофорного блоку моделі БВ-1058

Блок БВ-1058 призначений для роботи з багатовимірними датчиками (граничні і амплітудні). Являє собою набір блоків, число яких дорівнює кількості перевірених параметрів. Для перемикання з граничного режиму на амплітудний служить перемикач B_2 . При розімкнутих контактах ЕКД лампа 6Н5П замкнена негативною напругою 10 В, струм через лампу не йде, і реле 1Р і 2Р знеструмлені.

При замиканні одного з контактів ЕКД на мережу подається нульовий потенціал, лампа відпирається, реле спрацьовує.

При спрацьовуванні реле відбувається перемикання контактів реле P_1 і P_2 , які перемикають лампи L_1 , L_2 , L_3 .

При роботі з амплітудним датчиком реле 1Р і 2Р ставляться на саможивлення для запам'ятовування сигналу. Після закінчення вимірювання реле знеструмлюється кнопкою КУ.

Блоки цього типу поділяються на основні і приставні. Складання

проводиться за допомогою роз'ємів. Блок основний – блок живлення – розрахований на 10 приставних блоків. Останній включає в себе підсилювач і сигнальну частину.

Напруга і величина струму на контактах ЕКД 10 В * 0,02 мА. Габаритні розміри: 115х230х110 мм - основний блок; 115х230х46 мм – приставний блок.

Вимірковальний перетворювач є основним функціональним елементом вимірковального кола, від якого залежить точність засобів вимірювання. Він являє собою самостійний вузол і має свої передаточні і вихідні характеристики.

Перетворення лінійного переміщення або зміни розміру в електричний сигнал у вимірковальних перетворювачах оснований на взаємодії елементів електроніки і механіки. На практиці часто використовують термін «датчик», що аналогічно терміну «вимірковальний перетворювач».

Порядок проведення роботи.

1. Ознайомитись з конструкцією важільного двохграничного перетворювача і накреслити його кінематичну схему.

Важільні двохграничні перетворювачі мають уніфіковану конструкцію (рис. 1.12).

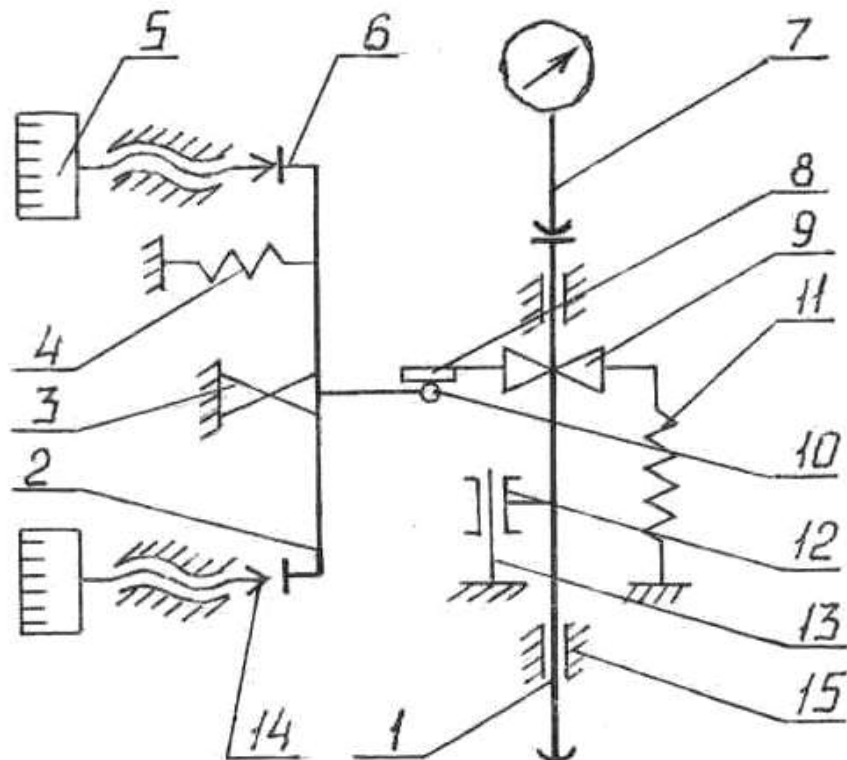


Рисунок 1.12 – Схема електроконтактного вимірковального перетворювача

Зміна розміру контрольованої деталі викликає переміщення штока 1. При цьому, на хрестоподібному пружинному шарнірі 3 повертається коромисло 2 з запресованими в нього рухомими контактами 6. Передача руху проводиться через твердосплавну п'ятку 8 хомутика 9, що діє на корундовий штифт 10, запресований в мале плече коромисла 2. Вимірюване зусилля створюється

пружиною 11. На штоці 1 також закріплено хомутик 12, що обхватує нерухомий штифт 13. Цей пристрій запобігає провороту штока 1 в ковзних напрямних 15.

При замиканні рухомих контактів 6 з нерухомими контактами 14, вмонтованими в оцифровані регулюючі барабанчики 5, видається команда. Ціна поділки барабанчика 5 визначається за формулою:

$$Ц = \frac{l}{n \cdot i}$$

де l , n – відповідно крок мікрометричного гвинта і число поділок барабанчика; i – передаточне відношення ричажного механізму перетворювача.

В корпусі перетворювача передбачене гніздо, в яке може вмонтуватись вимірювальна головка 7 для забезпечення налагодження перетворювача. Щоб обмежити струм через вимірювальні контакти перетворювача застосовують проміжні електронні реле.

Електроконтактні перетворювачі, що характеризуються високою надійністю, стабільністю характеристик, широко застосовують в багатомірних пристроях, контрольно-сортувальних автоматах.

2. Зібрати установку показано на рисунку 1.13.

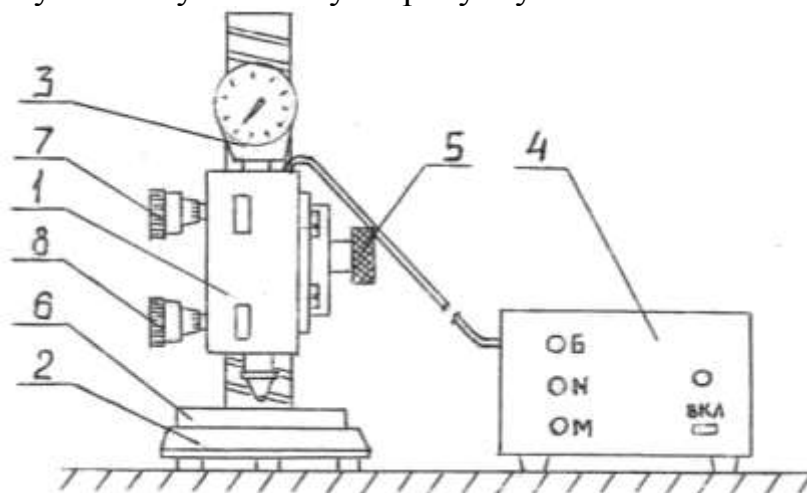


Рисунок 1.13 – Схема установки для дослідження електроконтактного перетворювача: 1 – електроконтактний перетворювач; 2 – стійка мікрокаторна; 3 – вимірювальна головка; 4 – електронне реле; 5 – гвинт вертикального переміщення; 6 – столик стійки; 7, 8 – барабанчики рухомих контактів

3. Ввімкнути блок електронних реле.

4. Обертаючи гвинт 5, перемістити датчик в положення, коли вимірювальний наконечник опуститься на столик 6, а стрілка МИГ-1 встановиться на оцифрованій відмітці (наприклад, 50 мкм).

5. Обертаючи барабанчик 7, відмітити момент замикання контакту по індикаторній лампі електронного реле 4.

6. Перемішувати датчик «вверх-вниз» від відміченого положення 5 разів, фіксуючи момент замикання по індикаторній лампі. Покази вимірювальної головки занести в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Покази вимірювальної головки

№ операції		1	2	3	4	5
Покази МИГ-1	Переміщення вниз					
	Переміщення вгору					

7. Повторити п.4-5 для нижнього контакту (мікрогвинт 8).

8. Визначити абсолютну похибку і максимальний розмах спрацювання контактів. Зробити висновок.

Контрольні питання

1. Для яких вимірювань призначені граничні ЕКД і амплітудні ЕКД?
2. Які бувають схеми включення ЕКД?
3. Перелічіть основні багатокомандні ЕКД.
4. В яких випадках допускається пряме включення контактів перетворювача у схему управління?
5. Від чого залежить величина вимірювального зусилля?
6. Назвіть елементи, що служать для усунення люфтів в механізмі датчика?
7. Користуючись кінематичною схемою, поданою на рисунку 1.12, поясніть суть принципу Аббе для забезпечення характеристик точності.

Практичне заняття № 2

ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Мета роботи: Дослідити принцип дії і ознайомитися з конструкцією фотоелектричного перетворювача.

Прилади і обладнання:

1. Фотоелектричний перетворювач ПФС-1.
2. Стійка мікрокаторна С-1.
3. Електронний блок живлення та індикації.
4. Набір кінцевих мір довжини.

Теоретичні відомості

Фотоелектричні датчики розміру здійснюють перетворення зміни розміру виробу у зміну променевої енергії або напрямку світлового потоку, який потім за допомогою різних фотоелементів перетворюється в електричний сигнал.

Найбільшого поширення через їх простоту отримали фотоелектричні вимірювальні системи з діафрагмуванням світлового потоку (рис. 2.1). У такому пристрої світловий потік від джерела світла 1 через оптичну систему 2 і щілинну діафрагму 3 падає на фоторезистор 4. Щілинна діафрагма частково закрита контрольною деталлю 6. Величина потоку випромінювання, падаючого на фотоелемент, визначається розміром деталі. Цей потік викликає певної величини струм у мікроамперметрі 5.

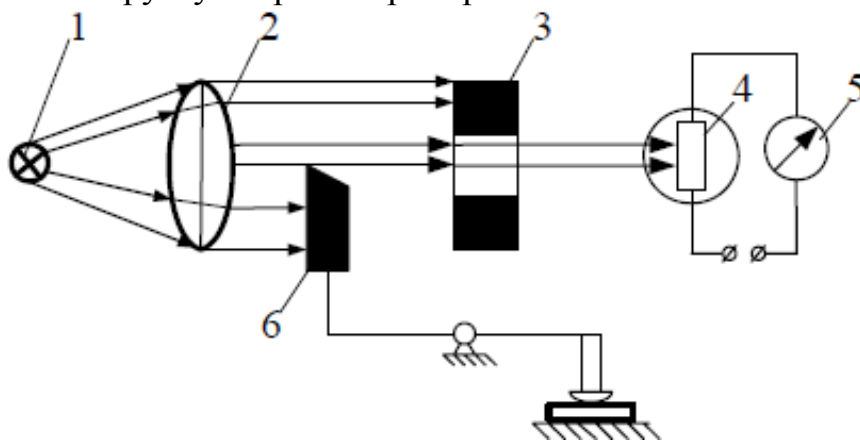


Рисунок 2.1 – Схема зі змінною для автоматизації величиною світлового потоку контролю без підсилювачів

Недоліки перетворювача, побудованого за цією схемою: вплив на точність вимірювань коливання яскравості джерела випромінювання, напруги живлення, температури. Крім того, мала величина фотоструму не дозволяє використовувати такого роду схеми.

Так як струм і напруга в ланцюгу постійні, то необхідно застосовувати підсилювачі постійного струму, які складніші і працюють менш стабільно, ніж підсилювачі змінного струму.

Якщо застосовувати в фотоелектричних вимірювальних системах модульований потік випромінювання, то можна використовувати підсилювачі

змінного струму. З багаточисленних способів модуляції світлового потоку найбільшого поширення набули способи модуляції безпосередньо біля джерела випромінювання. Для цієї мети часто використовують обертові диски, за допомогою яких отримують модуляцію світлового потоку в формі імпульсів. Частота модуляції F_M світлового потоку може бути визначена за формулою:

$$F_M = \frac{n}{60} N, \quad (2.1)$$

де n – частота обертання диска, хв⁻¹;

N – число прозорих вікон у диску.

Як приклад застосування одного з модульованих пристроїв розглянемо схему приладу, призначеного для контролю поршневих кілець (рис. 2.2). Світло від джерела 1 проходить через оптичну систему 2 до модулюючому диску 3. Модульований промінь проходить через зазор між шаблоном 4 і контрольованим кільцем 5. Величина зазору обмежує величину потоку випромінювання, що падає на фотоелемент 6. Тому за величиною потоку можна судити про розмір зазору і діаметр виробу.

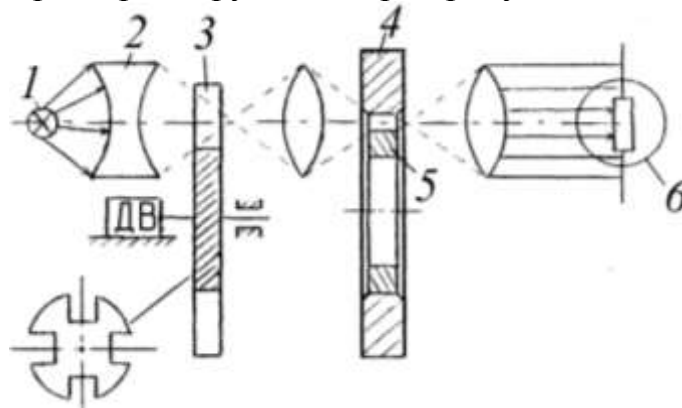


Рисунок 2.2 – Схема пристрою для контролю поршневих кілець

При точних вимірюваннях відмовляються від визначення значень вимірюваної величини за величиною струму і застосовують системи, в яких фіксується лише наявність або відсутність потоку випромінювання. У таких пристроях знаходяться зазвичай кілька фотореле, фотоеlementи яких освітлюються або затемнюються при певному положенні покажчика вимірювального пристрою. Роботу таких пристроїв, призначених для сортування деталей на велику кількість груп (до 50), розглянемо на прикладі фотоелектричного оптикатора (рис. 2.3).

Вимірювальний стержень 1 підвішений на плоских пружинах 2 і зв'язаний з подвійною крученою стрічковою пружиною 4, що несе на собі поворотне дзеркало 3. Промінь світла від лампочки 5 проходить через систему лінз 6 і діафрагму 7, відбивається від дзеркала 3, яке в залежності від розміру деталі 8, що контактує з вимірювальним наконечником, повертається на певний кут і потрапляє на відповідний контрольованому розміру фоторезистор 9, а також освітлює розташовану над цим фоторезистором поділку шкали.

Електрична схема приладу представлена на рисунку 2.4.

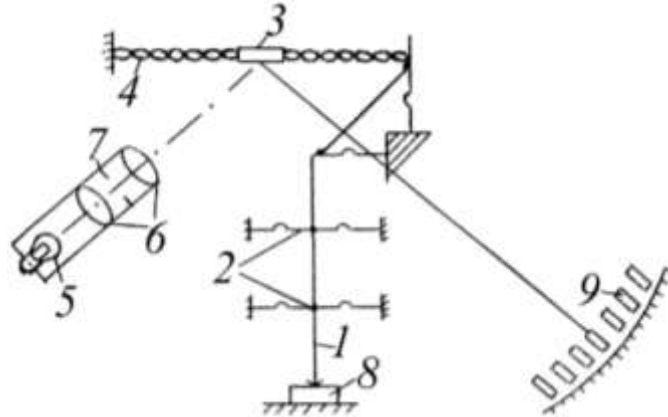


Рисунок 2.3 – Фотоелектричний перетворювач моделі ПФС

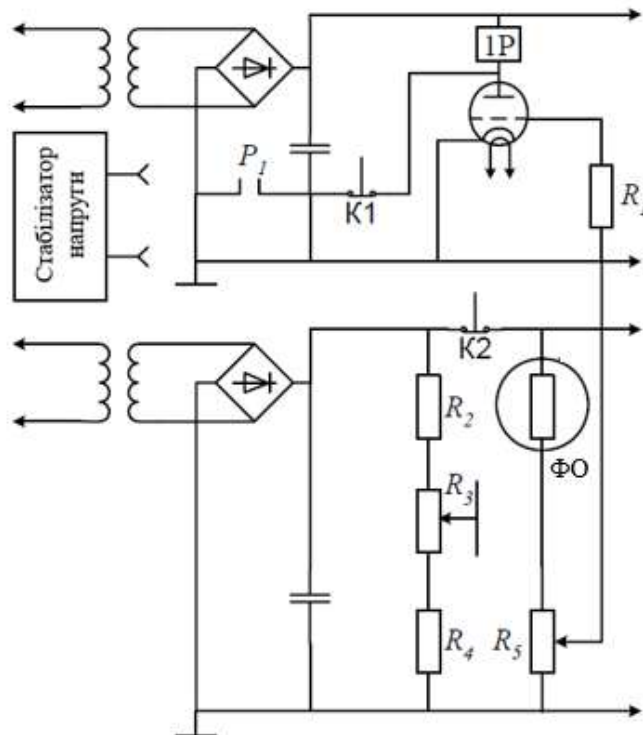


Рисунок 2.4 – Електрична схема приладу

Коли фоторезистор затемнений, напруга зсуву, що подається з подільника $R_2 - R_3 - R_4$ і резисторів R_1 і R_5 на мережу лампи, запирає її, реле $P1$ знеструмлено.

При освітленні фотоопору (ФС) потенціал мережі різко зменшується, лампа відкривається, виникає анодний струм, спрацьовує реле $1P$, що подає керуючу команду виконавчим органам. Для запам'ятовування цієї команди реле $1P$ забезпечує живлення минаючи лампу.

Для запобігання помилкових спрацьовувань у момент установки деталі живлення на ФС подається лише в момент, коли деталь встановилася на вимірювальну позицію за допомогою контактів $K2$.

Розглянуті прилади випускаються з ціною поділки від 0,5 до 5 мкм з кількістю команд 20 – 50. Похибка не перевищує 1/2 ціни поділки шкали.

В даний час набули поширення растрові системи з фотоелектричними перетворювачами. Растр (рис. 2.5) – це прозора лінійка зі світлими і темними ділянками, які чергуються. L повинна бути більше межі вимірювання.

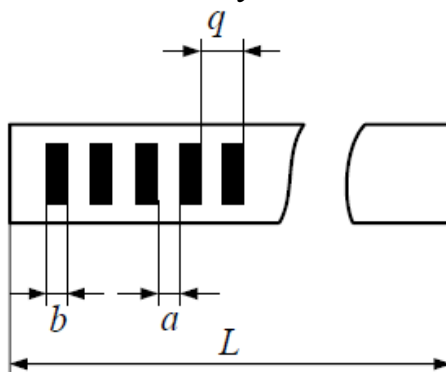


Рисунок 2.5 – Елементи растрового сполучення

Вимірювальне растрове сполучення складається з двох растрів: вимірювального і індикаторного. Індикаторний растр аналогічний вимірювальному, але значно меншої довжини з кроком, рівним кроку вимірювального растру або дещо відмінним від нього. Застосовують растри з кроком від 1 до 0,05 мм.

Якщо накласти індикаторний растр на вимірювальний під кутом до ліній вимірювального растру, то утворяться комбіновані смуги з кроком G , тобто комбінаційний растр (рис. 2.6).

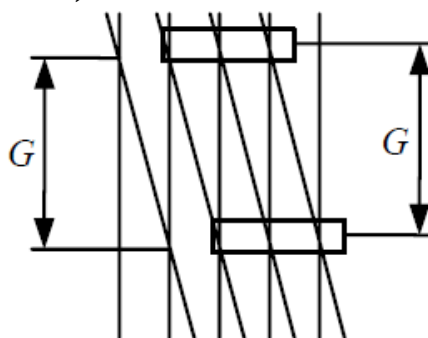


Рисунок 2.6 – Схема розташування щілин діафрагми оптичної системи

При переміщенні одного з растрів відносно іншого на крок q комбінаційні смуги перемістяться на крок G .

Накладення на растрове поле непрозорої діафрагми з щілинами з кроком, рівним кроку комбінаційного растра, дозволяє отримати при русі комбінаційних смуг відносно щілин світлові імпульси, які і є джерелом інформації контрольованого переміщення. Для визначення напрямку переміщень використовуються додаткові сигнали від растрової ланки, зсунуті по фазі. Це досягається за рахунок розташування діафрагм-щілин відносно комбінаційних смуг. Тоді електричні сигнали, що надходять в певному порядку від чотирьох фотоелектричних пристроїв, будуть складатися лічильником імпульсів у відліковому пристрої при прямому переміщенні комбінаційних смуг і відніматися при їх зворотному ході.

У якості показуючих пристроїв в фотоелектричних схемах з растрами використовуються лічильники електричних імпульсів.

Похибка растрових систем в основному залежить від помилки кроку штрихів растру, остання впливає на форму і положення комбінаційних смуг растрового сполучення.

Структурна схема фотоелектричного перетворювача представлена на рисунку 2.7.

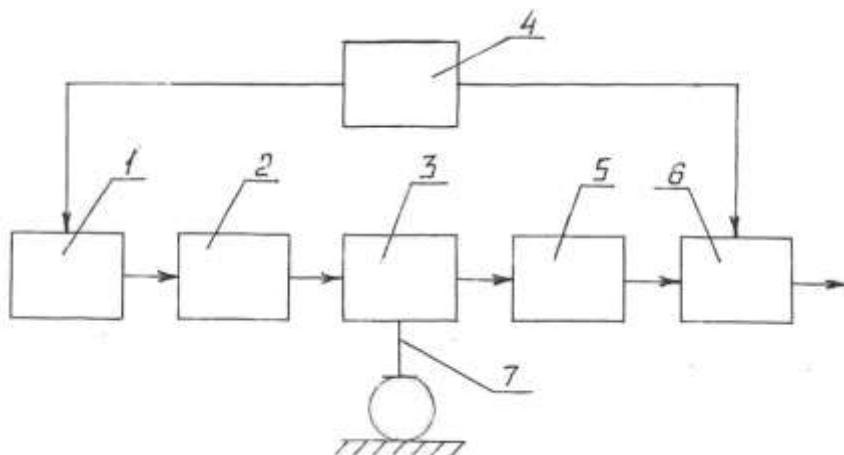


Рисунок 2.7 – Структурна схема фотоелектричного перетворювача

Дана схема може включати: джерело випромінювання променевої енергії 1, оптичну схему 2, вимірювальний механізм 3 з вимірювальним штоком 7, а також маску 5, фотоприймач 6, блок живлення 4. Маска може бути нерухомою або механічно зв'язаною зі штоком 7. При безконтактних вимірюваннях деталь може розміщуватися між джерелом випромінювання і фотоприймачем. Для контролю розмірів деталей використовують фотоелектричні перетворювачі, кінематична схема якого приведена на рисунку 2.8.

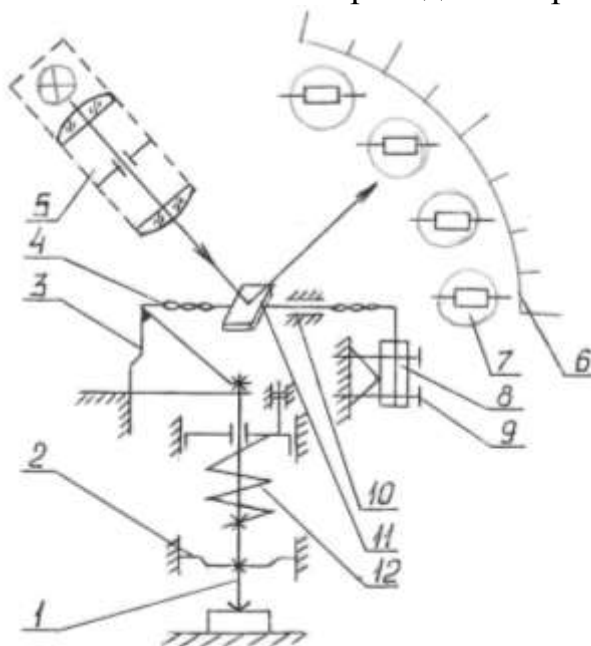


Рисунок 2.8 – Схема фотоелектричного вимірювального перетворювача

Від вимірювального штока 1, підвішеного на пружній діафрагмі 2, через пружний шарнір 3 переміщення передається двохсторонньо звитій стрічці 4, один з кінців якої припаяний до пружинної планки 8, що регулюється гвинтами 9.

На закріплене на витій стрічці 4 дзеркальце 11, від освітлювача 5, направляється світловий потік, який відбиваючись від поверхні дзеркальця 11, переміщується по шкалі 6 і набору фоторезисторів 7 типу ФСК-4а. Вимірювальне зусилля створюється пружиною 12. Для підвищення вібробійності вита стрічка 4 проходить через демпфер 10, заповнений полісілоксановою рідиною.

Фотоелектричні перетворювачі знаходять широке застосування в системах контролю розмірів деталей, особливо, в контрольно-сортувальних автоматах.

Порядок проведення роботи

1. Зібрати установку, показано на рисунку 2.9.
2. Включити електронний блок, і легким натисканням на вимірювальний наконечник перевірити, що світловий індекс переміщується по всій шкалі.
3. Встановити кінцеву міру довжини (мінімальну) і, переміщуючи перетворювач гвинтом 4, встановити світловий індекс на відмітку «0».

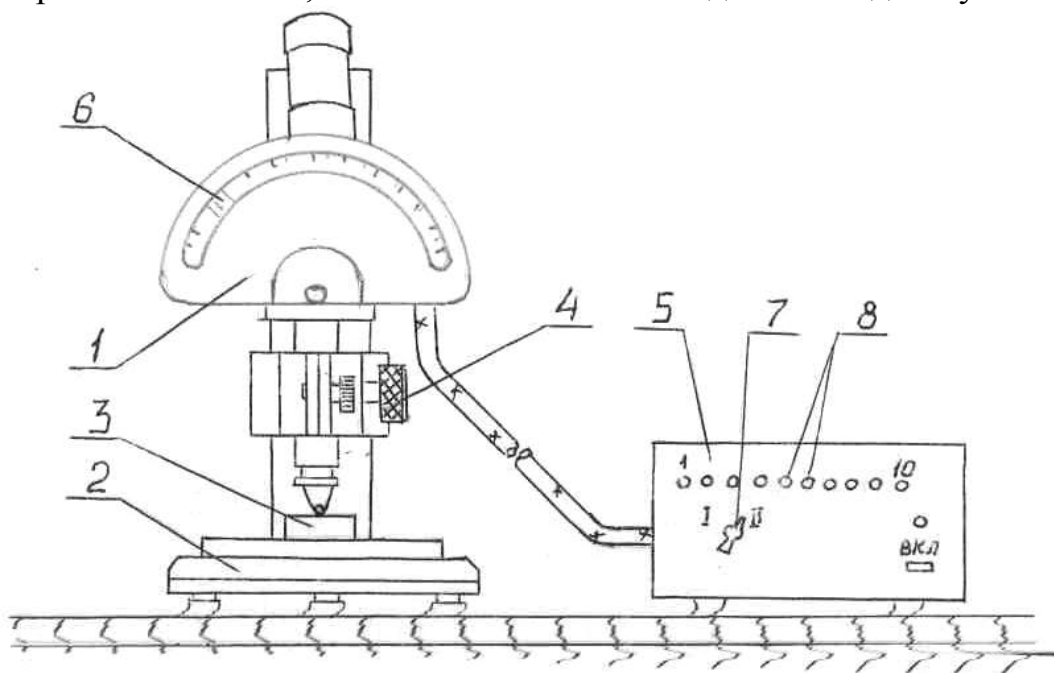


Рисунок 2.9 – Схема установки для дослідження фотоелектричного перетворювача: 1 – перетворювач ПФС; 2 – стійка С-1; 3 – кінцева міра; 4 – гвинт вертикального переміщення; 5 – електронний блок; 6 – світловий індекс; 7 – перемикач груп фоторезисторів; 8 – індикаторні лампи

4. Перемикач 7 перевести в положення 1. При цьому повинна засвітитися індикаторна лампа «1».

5. Послідовно змінюючи кінцеві міри 3, і переводячи перемикач 7 у відповідне положення, перевірити роботопридатність перетворювача і лінійність характеристики.

6. Зробити висновки і коротко описати конструкцію і взаємодію елементів перетворювача, використавши схему, подану на рисунку 2.10.

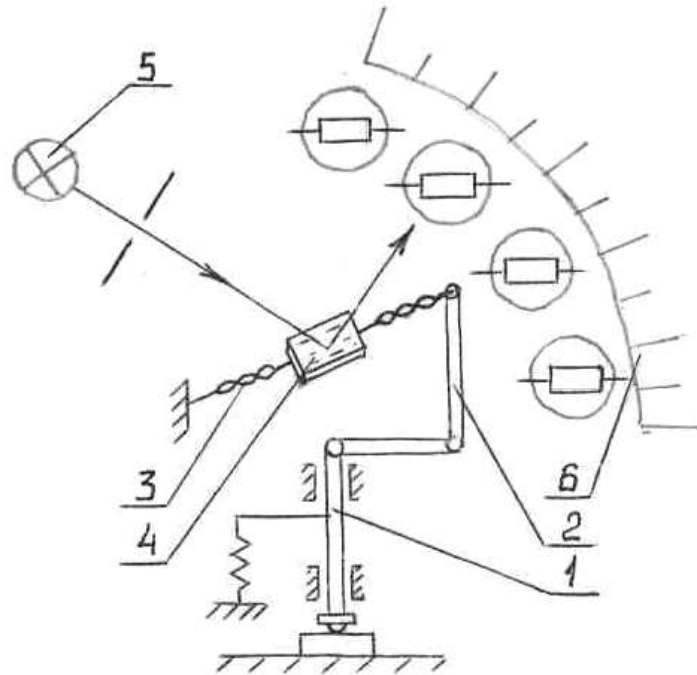


Рисунок 2.10 – Схема фотоелектричного вимірювального перетворювача:
1 – шток; 2 – важіль; 3 – вить стрічки; 4 – дзеркало; 5 – джерело світла;
6 – шкала з фотопристроєм

Контрольні питання

1. Які елементи створюють величину вимірювального зусилля перетворювача?
2. З яких елементів складається комбінований растр в растровій вимірювальній системі?
3. Чим забезпечується висока швидкодія?
4. Яке призначення маски?
5. Яке конструктивне вирішення дозволяє «ущільнення» груп сортування? Запропонуйте інші варіанти.
6. Які недоліки властиві конструкції, показаній на рисунку 2.8? Запропонуйте методи їх усунення.
7. Що являє собою вихідний сигнал перетворювача?
8. Які електричні вимірювальні схеми можна використовувати для підключення фотоелектричного перетворювача?

Практичне заняття № 3

ПНЕВМАТИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Мета роботи: Дослідити принцип дії і передатну характеристику пневматичного вимірювального перетворювача.

Прилади і обладнання:

1. Контрольні сопла $\varnothing$ 1,0; 1,5; 2,0 мм.
2. Манометр кл. 1,0 0 – 0,25 МПа (0 – 2,5 кгс/см²).
3. Стійка мікрокаторна С-II з кронштейном.
4. Мікрокатор з діапазоном вимірювання 0 – 200 мкм.
5. Набір кінцевих мір довжини.
6. Пневмотрубки, пневмоз'єднувачі, кран.

Теоретичні відомості

У машино- та приладобудуванні пневматичний метод вимірювання набув широкого поширення. Це пояснюється рядом переваг пневматичного методу, до яких можна віднести наступні:

- 1) високу точність вимірювання;
- 2) можливість здійснення безконтактних вимірювань;
- 3) можливість одночасного контролю декількох розмірів і суміщення операцій контролю з обчислювальними операціями (наприклад контролю суми і різниці розмірів);
- 4) можливість контролю розмірів у важкодоступних місцях деталей (наприклад отворів малих розмірів, глибоких отворів і т.д.);
- 5) простоту конструкції, оснащення та регулювання;
- 6) можливість отримання різних передавальних відношень.

Пневматичні датчики за точністю змагаються з кращими типами електричних датчиків.

Недоліки:

- 1) мала швидкодія;
- 2) малі межі вимірювання;
- 3) необхідність стабілізації тиску повітря.

Класифікація датчиків здійснюється за такими ознаками.

1. За принципом роботи:

- 1) манометричні – реагують на зміну тиску;
- 2) ротаметричні – реагують на зміну швидкості повітряного потоку.

Найбільшого поширення набули датчики першого типу.

2. За величиною тиску живлення:

- 1) датчики низького тиску (до 1000 мм вод. ст.);
- 2) датчики високого тиску (0,02 – 0,4 МПа).

3. За методом вимірювання:

- 1) контактні;
- 2) безконтактні.

Принцип дії пневматичної системи манометричного типу. Стиснене

повітря під постійним робочим тиском P_0 (рис. 3.1) через вхідне сопло з площею поперечного перерізу f_1 надходить у вимірювальну камеру 1. З камери 1 повітря через вимірювальне сопло з площею прохідного перерізу f_2 виходить в атмосферу. Тиск P_ϵ у камері 1 визначається співвідношенням площ прохідних перерізів вхідного і вимірювального сопел.

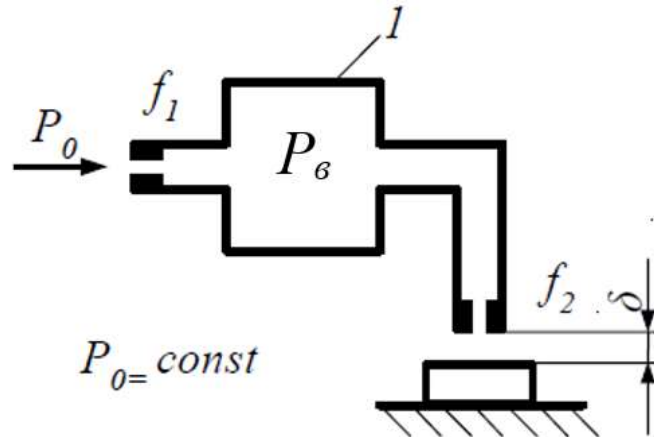


Рисунок 3.1 – Схема до розрахунку вимірювального сопла

Оскільки площа прохідного перерізу вхідного сопла постійна, а площа прохідного перерізу вимірювального сопла змінна, то тиск P_ϵ є функцією прохідного перерізу вимірювального сопла. Якщо перед вимірювальним соплом на відстані δ помістити будь-яку деталь, то між її поверхнею і торцем вимірювального сопла утворюється кільцевий зазор, зі зміною якого змінюється вимірювальний тиск P_ϵ .

Наближено залежність між вимірювальним тиском і вимірюваною величиною виражається формулою:

$$P_\epsilon = \frac{P_0}{1 + \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)^2 \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2}, \quad (3.1)$$

де α_1 і α_2 – коефіцієнти витoku повітря через вхідне і вимірювальне сопла,

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = 1; \quad f_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}; \quad f_2 = \pi d_2 \delta,$$

де d_1 і d_2 – діаметри отворів вхідного і вимірювального сопел.

Тоді

$$P_\epsilon = \frac{P_0}{1 + \left(\frac{4d_2\delta}{d_1^2}\right)^2}. \quad (3.2)$$

Звідси характеристика буде мати вигляд, зображений на рисунку 3.2. Крутизна рівномірної ділянки і її протяжність залежать від діаметрів вхідного і вимірювального сопла і, в меншій мірі, від робочого тиску.

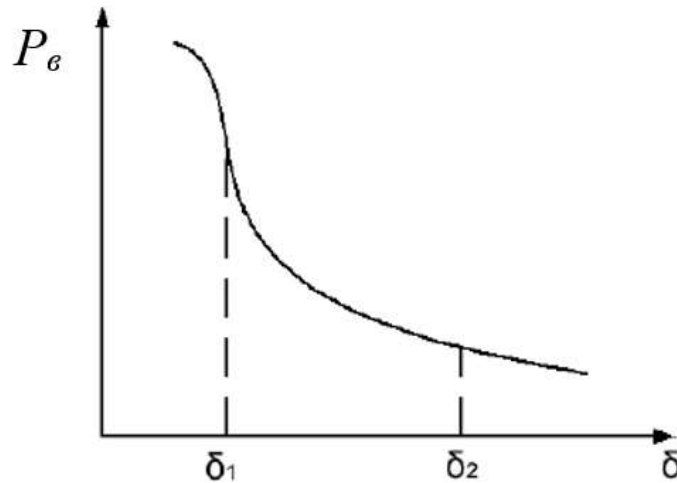


Рисунок 3.2 – Характеристика пневматичної системи

Похідна функції P_e по $d\delta$ визначає важливу характеристику пневматичної вимірювальної системи – передавальне число i (або чутливість системи приладу):

$$i = \frac{dP_e}{d\delta} = -32P_0 \frac{d_2^2}{d_1^4} \delta \left/ \left(1 + 16 \frac{d_2^2}{d_1^4} \delta^2 \right)^2 \right. . \quad (3.3)$$

Знак мінус перед правою частиною означає, що зі збільшенням d_2 або δ величина P_e зменшується. З формули видно, що зміна передавального відношення досягається шляхом підбору діаметрів сопел, зазорів і величини робочого зазору.

Так, при заданому діаметрі вимірювального сопла (зазвичай дорівнює 2 мм) зі зменшенням d_{ex} чутливість пневматичної системи зростає, а величина рівномірної ділянки скорочується. Така зміна чутливості і межі вимірювання без зміни конструкції приладу вигідно відрізняє пневматичні системи від інших вимірювальних пристроїв.

Пневматична вимірювальна система ротаметричного типу (рис. 3.3).

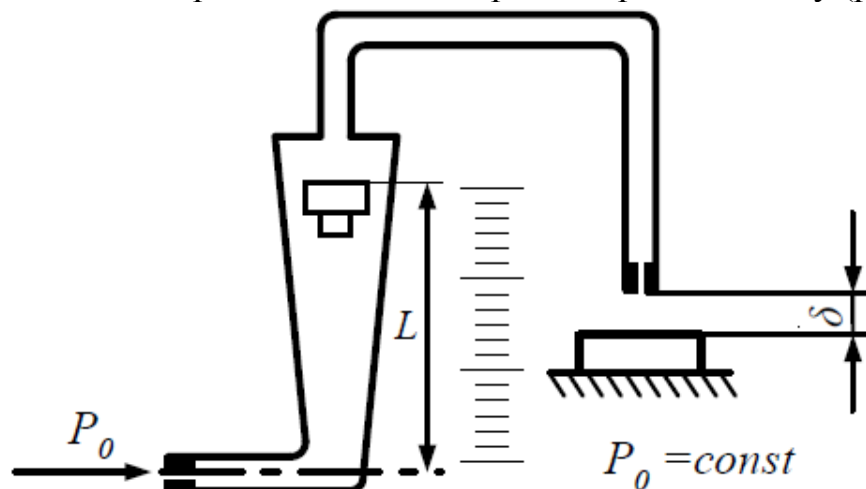


Рисунок 3.3 – Схема до розрахунку зазору

Очищене і стабілізоване повітря підводиться до нижнього кінця конічної скляної трубки, закріпленої вертикально широким кінцем вгору. Повітря, проходячи через скляну трубку, утримує поплавков на певному рівні і далі через шланг, приєднаний до верхнього кінця трубки, подається до вимірювального сопла. Величина підйому поплавка L (при $P_0 = \text{const}$) залежить від величини вимірювального зазору δ .

У ротаметричній систем немає вхідного сопла, тому тиск повітря від стабілізатора до вимірювального сопла залишається практично постійним, тобто для систем поняття робочий і вимірювальний тиск тотожні.

Теоретично положення поплавка відносно нижнього торця трубки в залежності від вимірювального зазору може бути визначено за такою формулою:

$$l = \frac{2\sqrt{d_2 \sqrt{\frac{P_0 F - Q^2}{Q}} \cdot \delta - r^2 - R_{\min}}}{K}, \quad (3.4)$$

де d_2 – діаметр сопла;

F – площа максимального перерізу поплавка;

Q – маса поплавка;

r – радіус максимального перерізу поплавка;

$R_{\min}$ – мінімальний радіус трубки;

K – конусність трубки.

Похідна $dl/d\delta$ (від l до δ) дає передавальне число системи. Передавальне число, а отже і шкала пристрою, рівномірні на будь-якій ділянці характеристики:

$$\frac{dl}{d\delta} = d_2 \sqrt{\frac{P_0 F - Q^2}{Q}} / K \sqrt{d_2 \sqrt{\frac{P_0 F - Q^2}{Q}} \cdot \delta - r^2}. \quad (3.5)$$

Похибка пристроїв ротаметричного типу зазвичай виражається в лінійних величинах – мікрометрах.

Проточні елементи пневматичних систем. Вимірювальне сопло (рис. 3.4) – первинний перетворювач інформації і постійний елемент пневматичного приладу. Вибір параметрів пневматичної системи, як правило, починають з визначення діаметра отвору вимірювального сопла. Найбільшого поширення отримало вимірювальне сопло з діаметром отвору 2,0 мм. Його рекомендується використовувати у всіх випадках крім тих, коли малі розміри контрольованого виробу змушують переходити на менші розміри з ряду: 1,5; 1,0; 0,7; 0,5 мм. Величина сопла, в основному, впливає на межі вимірювання.

Виняток з цього правила вибору вимірювального сопла роблять при вимірюванні малих діаметрів прямим методом.

Бажано в даному випадку застосовувати щілинні сопла, що мають розміри $a = 0,1 - 0,2$ мм; $l = 2 - 4$ мм.

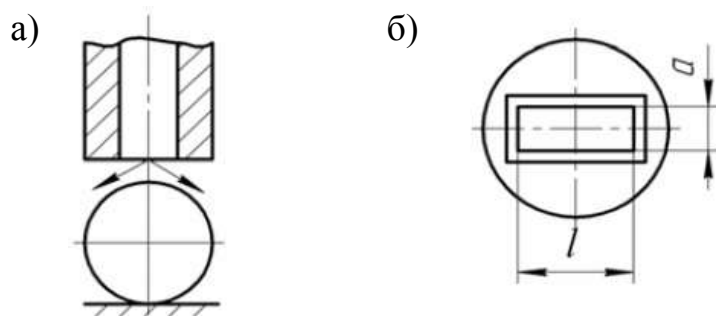


Рисунок 3.4 – Вимірювальні сопла: а) циліндричні, б) щілинні

Розміри робочої частини вимірювального сопла представлені на рисунку 3.5. Вимоги до торця сопла: 1) шорсткість поверхні $D = 0,16 \dots 0,020$; 2) ця ж шорсткість у проточній частині сопла (для зменшення опору проходження повітря) $<d_3 = 2d$, кут $\alpha > 15^\circ$ або ж торець по типу Б $l = (2 - 4) <2$, діаметр $<2x$ береться при $d = 2$ мм і $d_i = 3 - 4$ мм; розмір d_2 за розмірами стандартних посадкових поверхонь 8; 12; 16; 20; 24; 28; 30 мм. Матеріал: нержавіюча сталь, бронза, латунь.

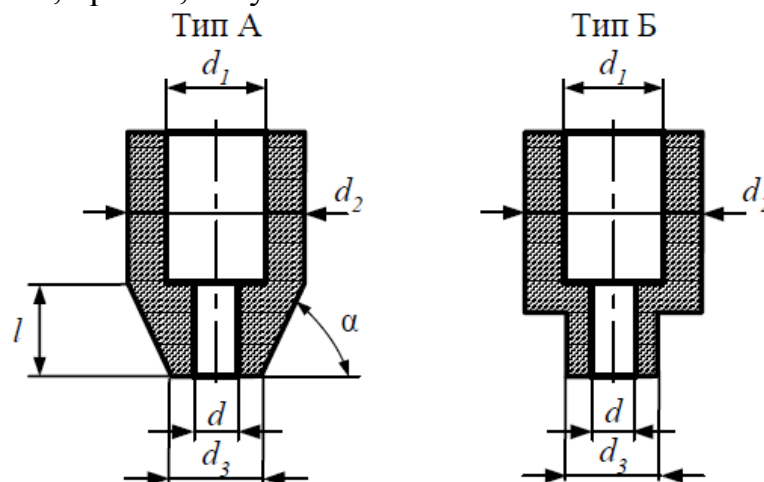


Рисунок 3.5 – Розміри робочої частини вимірювального сопла

Інший вид вимірювальних сопел – клапанні головки (конічні і параболічні) (рис. 3.6).

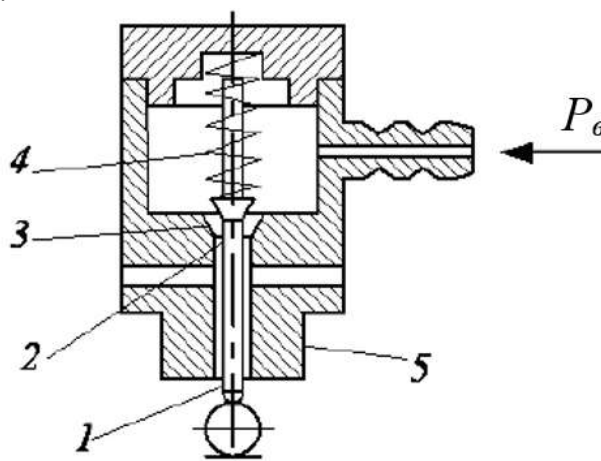


Рисунок 3.6 – Клапанна головка: 1 – вимірювальний шток; 2 – клапан; 3 – сідло клапана; 4 – пружина; 5 – корпус

Переваги:

1. При відсутності контрольованої деталі на вимірювальній позиції пневмосистема з клапанною головкою закрита. У вимірювальній камері встановлюється тиск живлення $P_в$, а у звичайній пневмосистемі – атмосферний тиск P_a .

2. Пневмосистема з клапанною головкою економічніша і має більшу швидкодію.

3. Клапанні головки дозволяють отримувати більш широкі межі вимірювань, ніж звичайні системи сопло-заслінка. Розширення меж вимірювання досягається зміною кута α конусності клапана від 10° до 150° . При цьому кути $\alpha = 10^\circ$ застосовуються рідко, необхідно, щоб кут α був більше кута тертя, інакше буде відбуватися залипання клапана.

Порядок розрахунку пневматичної вимірювальної системи. Основним вихідним фактором при виборі параметрів системи є діапазон вимірювання, який повинен бути більше на 20 – 50% поля допуску контрольованої деталі і повинен розташовуватися на прямолінійній ділянці характеристики пневматичної вимірювальної системи. Після визначення діапазону вимірювання послідовність розрахунку наступна.

1. Вибирається вид вимірювача тиску (низького тиску або високого).

2. Вибирається діаметр вимірювального сопла (2 мм).

3. Потім вибирається робочий тиск, який в системах низького тиску зазвичай дорівнює 500 мм. вод. ст., а для приладів високого тиску вибирається з ряду: 0,5; 1,0; 1,5 і 2,0 кгс/см².

4. Розраховується діаметр вхідного сопла за формулою:

$$d_{ex} = \sqrt{10\Delta p d_s^2}, \quad (3.6)$$

а потім уточнюється до найближчого діаметру з ряду: 0,30; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 1,0; 1,20; 1,50; 1,80; 2,00 і 2,20 мм.

5. Визначається передавальне відношення i :

$$i = 0,63 P_0 \frac{4d_s^2}{d_{ex}^2}. \quad (3.7)$$

Ця формула використовується для попереднього визначення параметрів системи. Далі параметри системи уточнюються експериментально.

Пневматичні вимірювальні системи простого і диференціального типів. Пневматичні вимірювальні системи бувають простого і диференціального типів. В основному використовуються диференціальні схеми вимірювань, оскільки вони менш чутливі до коливань робочого тиску. Прилади типу «Солекс» (пневматичні датчики з водяним стабілізатором тиску) (рис. 3.7). Повітря надходить в прилад через вхідний дросель 3 в камеру з трубою 2, вміщеною в балон 1, який наповнений водою і з'єднується зверху з атмосферою. Труба 2 занурена у воду на глибину H . Стиснене повітря витісняє воду з труби 2, надлишок повітря виходить через воду бульбашками в атмосферу.

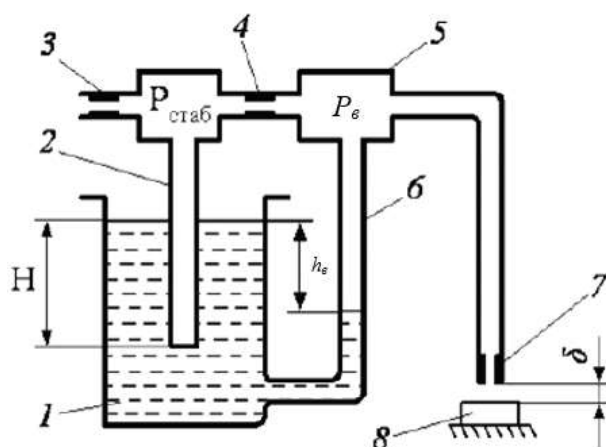


Рисунок 3.7 – Схема пневматичного датчика з водяним стабілізатором тиску

Таким чином, тиск повітря в трубці 2 буде постійним, рівним $P_{стаб} = H$ – висоті водяного стовпа. Далі повітря через вхідне сопло 4 потрапляє у вимірювальну камеру 5 і виходить з неї через вимірювальне сопло 7. Тиск у вимірювальній камері 5 обумовлений величиною зазору 8 між торцем вимірювального сопла 7 і контрольною деталлю 8 і визначається за різницею h_c рівнів води в балоні 1 і у скляній трубці 6, яка з'єднана нижньою частиною з балоном 1.

Найбільш поширені прилади з $H = 500$ мм. вод. ст., у якому передавальне відношення становить від 600 до 10000.

Недоліки: 1) випаровування води; 2) вплив паралаксу; 3) забруднення трубки водяного манометра, що утрудняє зчитування показів.

Вимірювальна система з водяним манометром (рис. 3.8). Одна гілка – нижня – є вимірювальною, тиск в ній змінюється в залежності від величини контрольованої деталі, і отже вимірювального зазору δ_c . Друга гілка – верхня – є гілкою протитиску, тиск в ній постійний, що визначається величиною зазору протитиску.

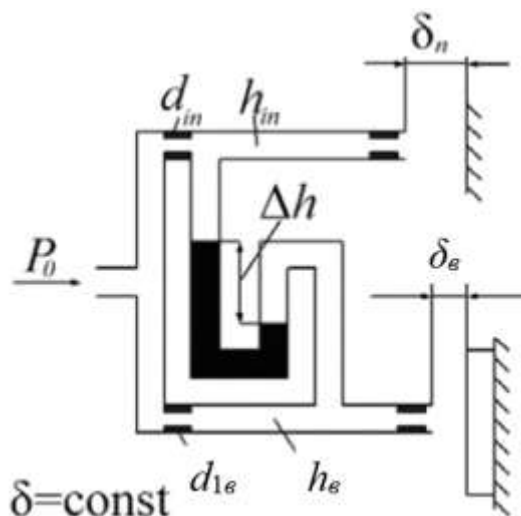


Рисунок 3.8 – Схема вимірювальної системи приладу

При необхідності використання переміщення стовпа рідини для цілей автоматичного управління можна застосовувати фотоелектричний пристрій (рис. 3.9). Промінь світла від лампочки 1 через діафрагму 2 падає на трубку 3 манометра і, проходячи через неї, потрапляє на фоторезистор 4. Якщо трубка 3 заповнена рідиною, вона працює як циліндрична лінза, що фокусує світловий потік на фоторезистор (хід променів показаний суцільною лінією). У тому випадку, коли в трубці немає води, хід променів відповідає пунктирній лінії, світловий потік розсіюється, і освітленість фоторезистора різко знижується.

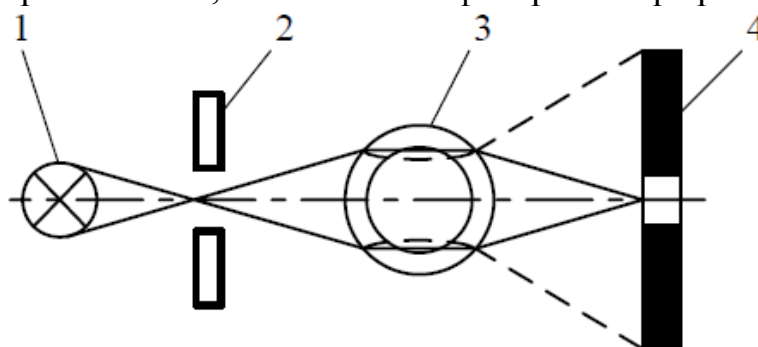


Рисунок 3.9 – Схема фотоелектричного пристрою

Пневмодатчик компенсаційної дії (рис. 3.10).

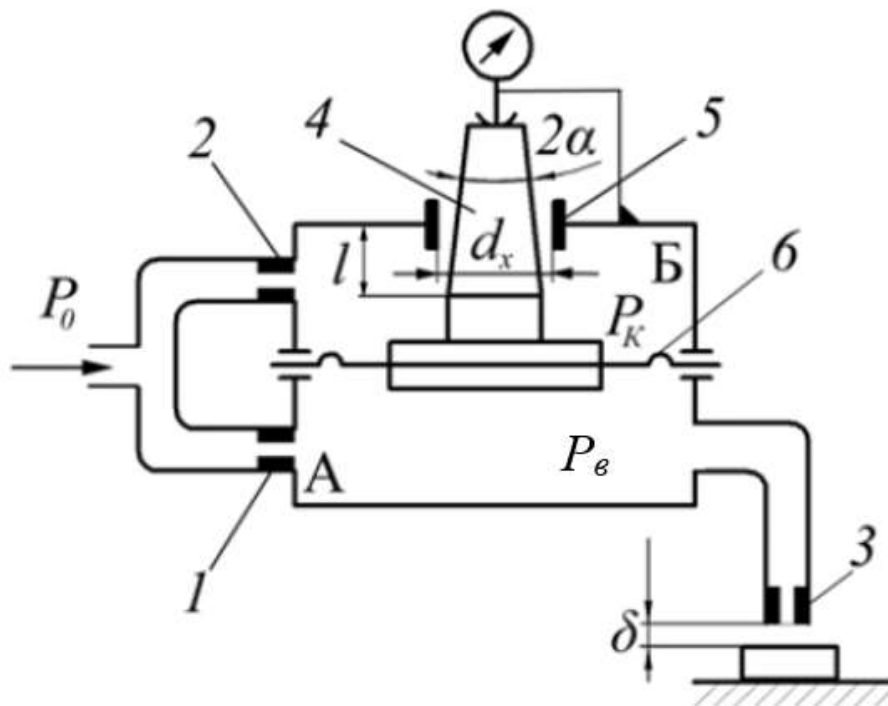


Рисунок 3.10 – Принципова схема пневмодатчика компенсаційної дії

Внутрішня порожнина датчика розділяється на дві камери: А – вимірювальна камера, Б – камера протитиску. В обидві камери стиснене повітря надходить через входні сопла 1 і 2 під однаковим стабілізованим тиском P_0 . З нижньої камери повітря виходить через вимірювальне сопло 3 в зазор δ між соплом і деталлю. З верхньої камери повітря виходить через кільцевий зазор між конічною поверхнею компенсаційної голки 4 і сідлом 5. При вимірюванні тиску P_ϵ у вимірювальній камері внаслідок зміни зазору δ , мембрана 6 під дією виниклого перепаду тисків переміщається, змінюючи положення конуса голки 4 відносно сідла 5, а отже і прохідний переріз сопла. Переміщення мембрани припиняється тільки після вирівнювання тиску $P_\epsilon = P_\kappa$.

Величина переміщення компенсаційної голки пропорційна вимірюваному зазору і може використовуватися для отримання командного сигналу, наприклад за допомогою з'єднаного з нею електроконтактного датчика.

Тиск у вимірювальній: та камері протидії датчика визначається виразами:

$$P_\kappa = \frac{P_0}{1 + (f_\kappa / f_{\epsilon x})^2} = \frac{P_0}{1 + (4\pi d_\kappa l K / 2\pi d_{\epsilon x}^2)^2} = \frac{P_0}{1 + (2d_\kappa K / d_{\epsilon x}^2)^2 l^2}, \quad (3.8)$$

$$P_\epsilon = \frac{P_0}{1 + (f_\epsilon / f_{\epsilon x})^2} = \frac{P_0}{1 + (4\pi d_\epsilon l K / 2\pi d_{\epsilon x}^2)^2} = \frac{P_0}{1 + (2d_\epsilon K / d_{\epsilon x}^2)^2 l^2}. \quad (3.9)$$

Площа компенсаційного кільця

$$f_\kappa = \pi d_\kappa l \operatorname{tg} \alpha = \pi d_\kappa l \frac{K}{2}, \quad (3.10)$$

де $K = 2 \operatorname{tg} \alpha$ – конусність сопла.

Якщо знехтувати тиском компенсаційної голки на мембрану, можна прийняти $P_\kappa = P_\epsilon$. Тоді

$$1 + \left(\frac{2d_\kappa K}{d_{\epsilon x}^2} \right)^2 l^2 = 1 + \left(\frac{2d_\epsilon}{d_{\epsilon x}^2} \right)^2 \delta^2, \quad (3.11)$$

$$l = \frac{2d_\epsilon}{d_\kappa K} \delta \rightarrow i = \frac{dl}{d\delta} = \frac{2d_\epsilon}{d_\kappa K}. \quad (3.12)$$

Так як величина передавального відношення i визначається лише постійними величинами, отже i також постійне, і характеристика є прямолінійною на всій її довжині.

Вимірювальна система компенсаційного дії для контролю різниці діаметрів бігових доріжок кілець кулькових підшипників. Пневмоелектричний диференціальний датчик компенсаційного типу, принципова схема якого показана на рисунку 3.11, призначений для багатодіапазонного сортування.

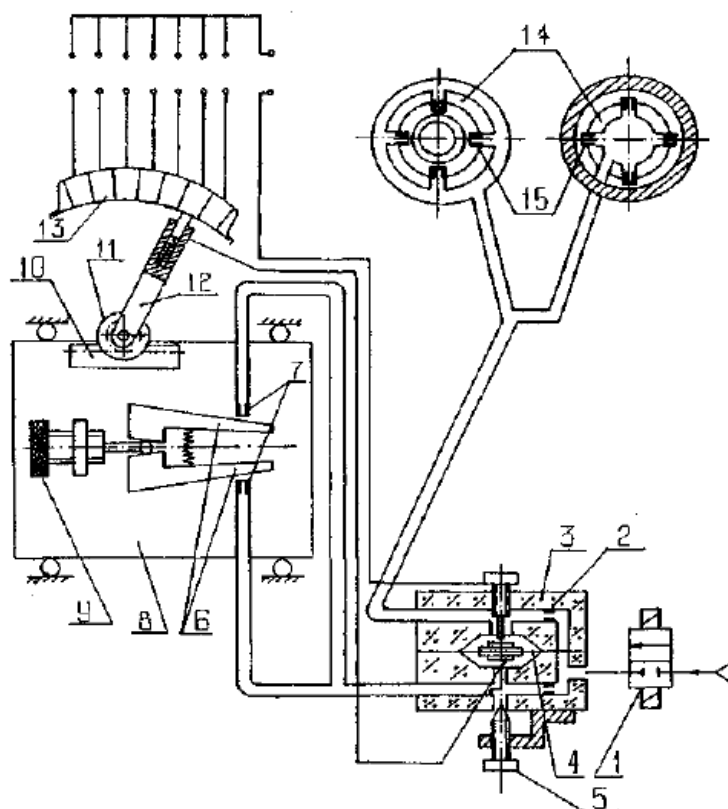


Рисунок 3.11 – Схема пневмоелектричного датчика компенсаційного типу, що використовується для контролю різниці діаметрів бігових доріжок зовнішніх і внутрішніх кілець кулькових підшипників

Датчик подібного типу встановлений на автоматі БВ-524, який входить до складу автоматичної лінії по виробництву кулькових підшипників на Першому державному підшипниковому заводі. Цей автомат визначає різницю діаметрів бігових доріжок зовнішніх і внутрішніх кілець кулькових підшипників і викликає на складання кулки однієї з п'ятдесяти груп, що відповідають даній різниці діаметрів. Пара кілець, що мають різницю діаметрів бігових доріжок більше або менше допустимої величини, скидається в брак.

Датчик працює наступним чином. Стиснуте стабілізоване повітря проходить через клапан 1 з електромагнітним керуванням і вхідні сопла 2 до мембранного датчика 3. Одна площину датчика зв'язана вимірювальними пристроями 14, в яких встановлено по чотири висувних сопла 15, контролюючих діаметр бігової доріжки зовнішніх і внутрішніх кілець в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Інша порожнину датчика, в яку входить вузол регулювання протитиску, зв'язана з компенсаційними соплами 7, які перекриваються лінійками 6, закріпленими під невеликим кутом на каретці 8. Каретка має зубчасту рейку 10, яка закріплюється шестернею 11, обертає важіль 12 зі щіткою, яка ковзає по колектору 13. У верхній порожнині датчика встановлюється тиск, що є функцією суми чотирьох зазорів, тобто різниці діаметрів бігових доріжок кілець. У нижній порожнині датчика при русі каретки з клином виникає змінний опір, який зростає в міру зменшення зазору і компенсаційних сопел. У момент, коли тиски в обох порожнинах

датчика будуть рівними, мембрана 4 займе середнє положення і контакт датчика замкнеться, включивши струм на комутатор. Струм, пройшовши через щітку і через замкнуту нею у даний момент пластину колектора, включить електромагнітне реле відповідної групи. Реле вимикає колектор, включає сигнал світлового табло, що вказує номер групи даної пари кілець, і дає команду на виклик певної групи кульок. Якщо контакти датчика будуть замкнуті раніше, ніж щітка колектора дійде до контакту першої групи, то така пара кілець буде направлена в брак, а світлове табло дасть сигнал «брак +». Якщо контакти датчик не будуть замкнуті до кінця вимірювання, то щітка в кінці руху замкне додаткову пластину колектора, яка дасть сигнал « брак –». Налаштування датчика виконується за двома парами зразкових кілець з максимальним і мінімальним зазорами. За першою парою кілець настройку ведуть з допомогу вузла регулювання протитиску 5. При налаштуванні за другою парою кілець регулювання виконують гвинтом 9, за допомогою якого збільшують або зменшують кут між лініями.

Методи розширення меж вимірювань пневмосистем. Дуже часто на практиці потрібно отримувати межі вимірювань більші, ніж це можна зробити для системи «сопло-заслінка». Максимальний зазор δ , при якому теоретично можливі вимірювання для системи «сопло-заслінка», визначається умовою:

$$\frac{\pi d_e^2}{4} > \pi d_e \delta < \frac{d_e}{4}, \quad (3.13)$$

при $\delta < \frac{d_e}{4}$ площа закінчення кільцевого зазору практично не залежить від δ (реальна межа вимірювання до 100 мкм).

В даний час розроблений ряд прийомів, які розширюють діапазон вимірювань і покращують характеристики пневматичних вимірювальних систем, як то:

1) використання спеціальних видів первинних перетворювачів (сопло-клапан);

2) використання спеціальних датчиків, що дозволяють вимірювати в широкому діапазоні, наприклад датчиків компенсаційного дії;

3) застосування ежекторних сопел.

Значне збільшення діапазону вимірювань досягається переходом від звичайних до ежекторних сопел, в яких повітря під постійним тиском P_0 подається у вхідне сопло 1 і з нього надходить безпосередньо в вимірювальне сопло 2 (дана пара сопел утворює струменевий апарат-ежектор) і далі через кільцевий зазор між торцем вимірювального сопла і деталлю (рис. 3.13). При цьому робочий потік повітря засмоктує повітря з камери 3, тиск в якій вимірює манометр 4. За рахунок засосу повітря з камери 3 тиск в ній може сильно впасти і навіть стати негативним. Тиск P_e у вимірювальній камері 3 відраховується за приладом 4 і є мірою зміни розміру контрольованої деталі, але при цьому прямолінійна ділянка, що характеризує залежність δ від вимірювального тиску, виявиться більшим. З графіка (рис. 3.14) випливає, що

звичайна характеристика пневматичної вимірювальної системи (пунктирна крива) має прямолінійну ділянку тільки між точками a і b , в той час як для ежекторної системи від верхньої точки a до перетину з віссю абсцис вся ділянка прямолінійна і величина її в два-три рази більша.

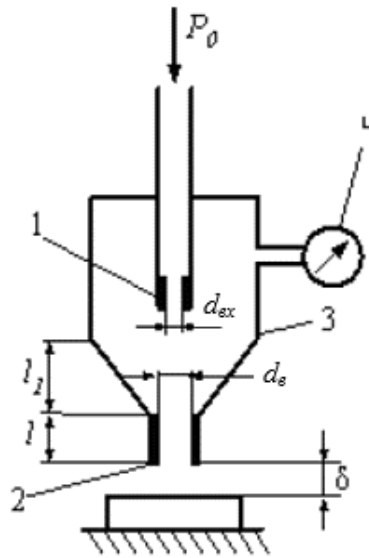


Рисунок 3.13 – Схема пневматичного перетворювача з ежекторним соплом

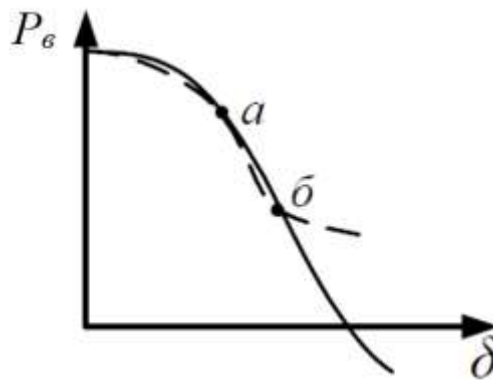


Рисунок 3.14 – Характеристика пневмосистеми з ежекторним соплом

За експериментальними даними оптимальна довжина прохідного перерізу вимірювального сопла 1 (тобто довжина, що забезпечує найбільшу величину прямолінійної ділянки характеристики) може бути визначена за формулою:

$$l_1 = 1,35 \frac{d_{ex}^2}{d_e} - 1,5d_e. \quad (3.14)$$

Ділянка l_1 має бути рівною $l_1 = \frac{d_e - d_{ex}}{0,63}$.

Діапазон вимірювання (величина прямолінійної ділянки) визначається за формулою:

$$\Delta \delta = \frac{d_{ex}^2}{d_e}, \quad (3.15)$$

або при заданому діапазоні вимірювання величина d_{ex} сопла вибирається за наступною формулою:

$$d_{ex} = 1,45 \sqrt{d_g \cdot \delta_{max}}, \quad (3.16)$$

де δ_{max} – вимірювальний зазор, що відповідає верхній межі межі вимірювання.

Завдяки простоті конструкції і невисокій вартості, пневматичні перетворювачі знайшли широке застосування в приладах і комплексах для вимірювання мікроперемішень і лінійних розмірів деталей, особливо в умовах пожежо- і вибухонебезпечних виробництв.

Порядок проведення роботи

1. Зібрати установку, показану на рисунку 3.15, встановити сопло $\varnothing 1,0$ мм.

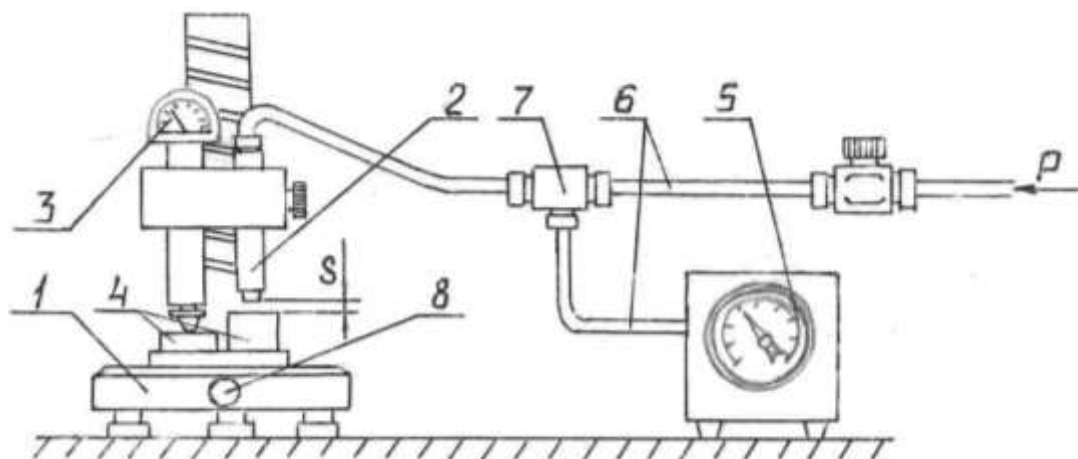


Рисунок 3.15 – Схема установки: 1 – стійка мікрокаторна; 2 – контрольне сопло; 3 – мікрокатор; 4 – кінцеві міри довжини; 5 – прилад для вимірювання тиску (манометр); 6 – пневмотрубки; 7 – пневмоз'єднувач; 8 – гвинт вертикального мікропереміщення

2. Відкрити кран стиснутого повітря.

3. Підбором кінцевих мір довжини, встановити стрілку мікрокатора на «0» і стрілку манометра на кінцеву відмітку шкали.

4. Повертаючи гвинт мікропереміщення, переміщувати столик стійки з кінцевими мірами вгору, відмічаючи покази мікрокатора і манометра через 20 мкм, до кінцевої відмітки шкали мікрокатора.

Замінюючи контрольні сопла ($\varnothing 1,5$ і 2 мкм) повторити п. 2-4. Результати показів занести в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань

Покази мікрокатора		0	20	40	60	80	100	120	140	160
Покази манометра	$\varnothing 1,0$									
	$\varnothing 1,5$									
	$\varnothing 2,0$									

5. За отриманими даними з таблиці 3.1, побудувати графіки залежності значення вимірювального тиску від зазору $P_B=f(S)$. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Від яких параметрів перетворювача залежить діапазон лінійного перетворення?
2. Які фактори впливають на точність перетворення?
3. Зміна яких параметрів збільшує чутливість перетворювача? Як це пов'язано з діапазоном вимірювання?
4. Чому не рекомендується використання пневмоперетворювачів для безконтактних вимірювань поверхонь з великою швидкістю переміщення?
5. Що розуміють під терміном «вимірювальна камера»?
6. Від яких параметрів залежить інерційність перетворювачів?
7. Намалюйте характеристику пневмодатчика компенсаційної дії.
8. Які способи існують для розширення меж вимірювання пневмосистем?

Практичне заняття №4

ІНДУКТИВНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Мета роботи: Дослідити принцип дії і передаточну характеристику індуктивного вимірювального перетворювача.

Прилади і обладнання:

1. Індуктивний датчик.
2. Електронний відліковий пристрій.
3. Стійка мікрокаторна С-IV з кронштейном.
4. Вимірювальна головка МИГ-1.

Теоретичні відомості

Індуктивні датчики (ІД) являють собою пристрої, у яких лінійні переміщення рухомої частини (якоря) перетворюються в зміну індуктивності. Індуктивний метод вимірювання має ряд переваг: датчики прості за будовою і надійні в роботі, за точністю індуктивний метод може конкурувати з оптичними вимірюваннями. Індуктивні прилади забезпечують дистанційне вимірювання. Метод допускає вимірювання розміру, який безперервно змінюється і фіксацію його в вигляді діаграми.

До недоліків методу слід віднести порівняльну складність електричних схем, а також неможливість приєднання будь-якого індуктивного датчика до будь-якого електроблоку, який обслуговує індуктивні датчики.

Класифікація індуктивних перетворювачів

Класифікація індуктивних датчиків може бути проведена за такими ознаками.

1. За принципом роботи:
 - а) індуктивні, або дросельні;
 - б) трансформаторні.
2. За принципом побудови:
 - а) прості (одинарні);
 - б) диференціальні;
 - в) напівдиференціальні.
3. За видом вимірюваного переміщення:
 - а) для лінійних переміщень;
 - б) кутових переміщень.
4. За видом робочого повітряного зазору:
 - а) зі змінною величиною повітряного зазору;
 - б) зі змінною площею повітряного зазору;
 - в) з зубчастим повітряним зазором.
5. За призначенням:
 - а) для вимірювання переміщень;
 - б) для вимірювання механічних величин, перетворених в переміщення;
 - в) для вимірювання параметрів вібрацій;
 - г) для контролю властивостей феромагнітних матеріалів і товщини

покриттів.

Принцип дії і розрахунок найпростішого дросельного перетворювача

Перетворювач (рис. 4.1) має сталевий магнітопровід П-подібної форми з обмоткою W , включеної в електричний ланцюг, з відліковим пристроєм I і додатковим опором R , живиться від мережі змінного струму з напругою U .

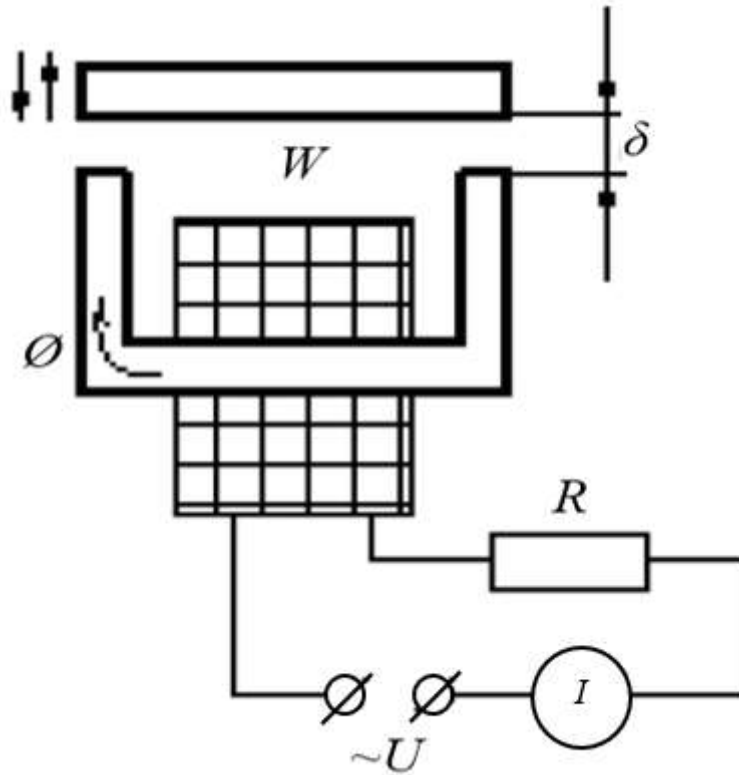


Рисунок 4.1 – До розрахунку індуктивного перетворювача

Якір перетворювача переміщається разом з об'єктом, а замикання магнітного потоку Φ в датчику йде через зазор δ . Індуктивність обмотки зі сталевим осердям визначається за формулою:

$$L = W^2 / R_M = W^2 / \left(\frac{2\delta}{\mu S_{\text{екв}}} + \frac{l_{\text{ср}}}{\mu S} \right); \quad (4.1)$$

Так як $\mu \gg \mu_0$, то

$$L = W^2 \mu_0 S_{\text{екв}} / 2\delta, \quad (4.2)$$

де W – число витків обмотки;

R_M – магнітний опір магнітному потоку обмотки;

δ – величина повітряного зазору;

μ, μ_0 – магнітна проникність повітря і сталі;

$S_{\text{екв}}$ – переріз повітряного зазору з урахуванням потоків розсіювання;

$l_{\text{ср}}$ – середня довжина шляху потоку по сталевим ділянкам магнітопроводу і якоря;

S – переріз сталевих ділянок магнітного ланцюга.

Опір Z ланцюга визначається за формулою:

$$Z = \sqrt{(\omega L)^2 + R^2}, \quad (4.3)$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота ланцюга;

$R_{екв}$ – сумарний активний опір ланцюга;

L – індуктивність обмотки.

З формул випливає, що L і Z зменшуються обернено пропорційно при збільшенні δ . Характеристика $Z = f(\delta)$ нелінійна (рис. 4.2), але якщо обмежити робочий ділянку перетворювача $\Delta\delta = \delta_{\max} - \delta_{\min}$, можна домогтися, що ступінь нелінійності характеристики не буде перевищувати заданої величини.

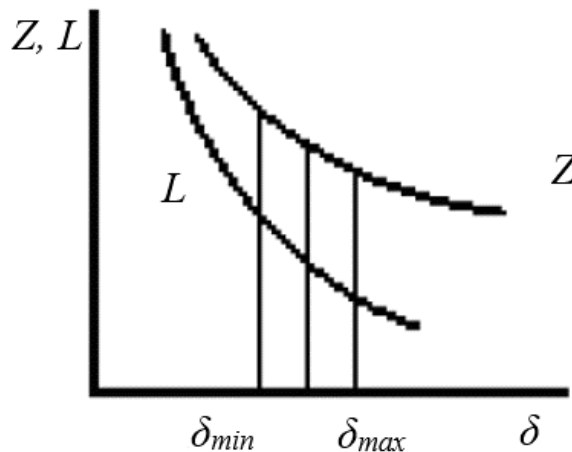


Рисунок 4.2 – Характеристика однокатушкової системи

Така однокатушкова система, як правило, не використовується:

- 1) через велику нелінійності;
- 2) великі вимірювальні зусилля;
- 3) впливу на точність вимірювання непостійності параметрів U , ω , $^{\circ}C$.

Для отримання більш лінійної залежності без зменшення величини зміни зазору $\Delta\delta$ застосовують диференціальні індуктивні перетворювачі, наприклад такі, як показані на рисунку 4.3.

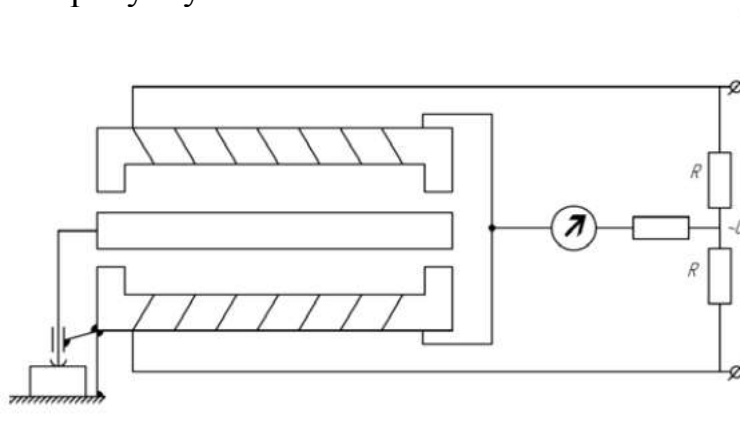


Рисунок 4.3 – Принципова схема диференціального індуктивного датчика

Графічна характеристика такого перетворювача показана на рисунку 4.4.

Переваги диференціальних датчиків: 1) велика лінійна частина характеристики; 2) менший вплив магнітних зусиль; 3) менший вплив коливань частоти і напруги живлення.

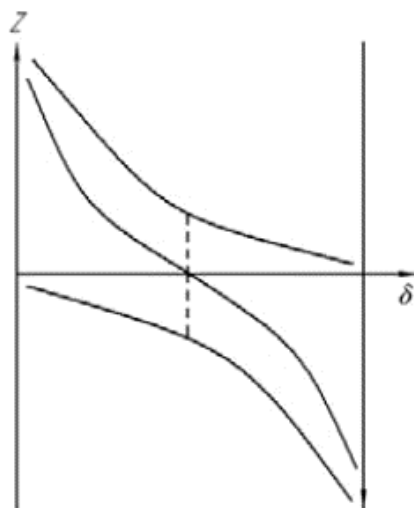


Рисунок 4.4 – Характеристика диференціального індуктивного датчика

Існує ще один вид індуктивних датчиків – трансформаторні, які працюють за принципом зміни коефіцієнта взаємоіндукції обмоток (рис. 4.5), що містять первинні котушки 1 і вторинні котушки 2. Дві однакові первинні котушки 1 обох осердь включені послідовно, завдяки чому при симетричному положенні якоря магнітні потоки в обох ланцюгах рівні. Вторинні котушки 2 також мають однакові параметри, але включаються назустріч один одному. При середньому положенні якоря ЕРС, які індуктуються в них рівні, $E_1 = E_2$, і струм у вимірювальному приладі дорівнює нулю. При переміщенні якоря з середнього положення магнітний опір, а отже і магнітні потоки, які пронизують вторинні котушки, будуть різні, і у вимірювальному приладі з'явиться струм, який визначається різницею ЕРС, що індуктуються у вторинних обмотках.

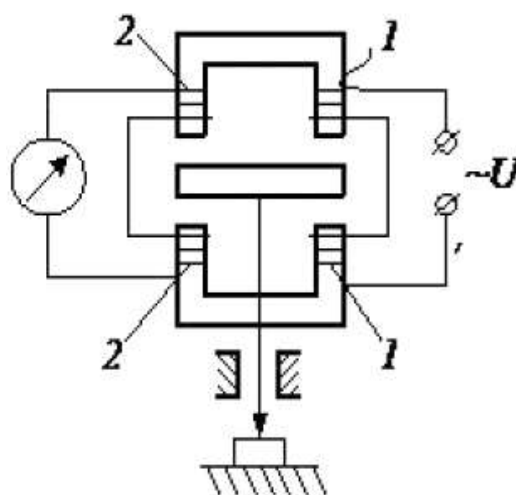


Рисунок 4.5 – Диференціальний трансформаторний індуктивний перетворювач

Схеми включення індуктивних перетворювачів. Основними вимірювальними схемами індуктивних приладів є два види мостових схем:

а) нерівноваженого моста;

б) врівноваженого моста.

Схема неврівноваженого моста простіша і частіше застосовується (рис. 4.6).

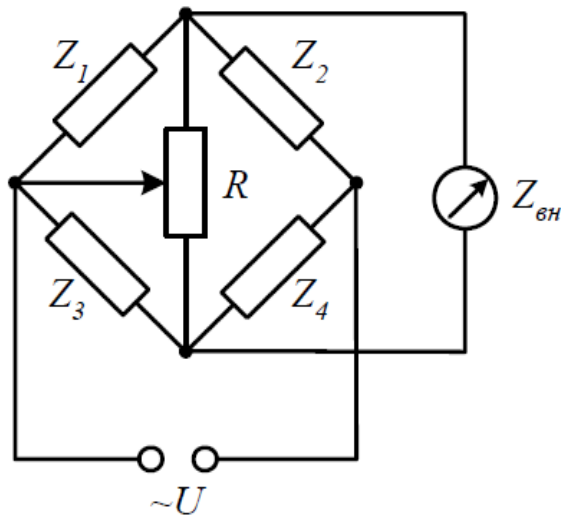


Рисунок 4.6 – Схема неврівноваженого моста: Z_1, Z_3 – опір котушок диференціального індуктивного перетворювача; Z_2, Z_4 – опір плечей другої половини моста; R – опір для регулювання напруги розбалансу моста; $Z_{вн}$ – внутрішній опір відлікового приладу; U – напруга живлення

Схеми врівноваженого моста застосовують при побудові індуктивних самописців, в пристроях під налагодження вимірювальних засобів (рис. 4.7). У схемі неврівноваженого моста опори плечей моста, виключаючи опори котушок індуктивного датчика зазвичай чисто активні. В результаті напруга розбалансу моста не збігається за фазою з напругою його живлення. Це призводить до того, що в нульовій зоні шкали з'являється область неврівноваженої напруги, яка зменшує межу вимірювання приладу. Збіг по фазі напруги розбалансу моста і напруги його живлення досягається регулюванням додаткового опору R і початкового зазору δ_0 або частоти напруги живлення і R .

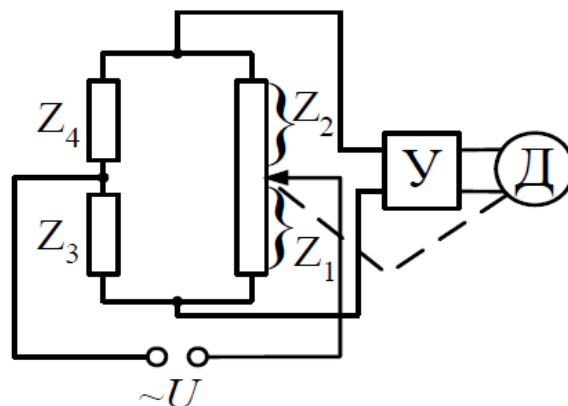


Рисунок 4.7 – Схема врівноваженого моста: Z_1, Z_2 – опір плечей регулювального потенціометра; Z_3, Z_4 – опір плечей другої половини моста; U – підсилювач; D – двигун, що керує положенням повзуна потенціометра; U – напруга живлення

Переваги схеми врівноваженого моста:

- 1) легкість отримання керуючих команд;
- 2) напруга розбалансу завжди дорівнює нулю.

Індуктивні датчики великих переміщень з дискретним вихідним сигналом. Діапазон вимірювання вищерозглянутих індуктивних датчиків не перевищує 2 мм. Однак в ряді випадків вимагається вимірювання з високою точністю в діапазоні до 1000 мм і більше. Наприклад, у металорізальних верстатах з ЧПК потрібно вимірювати переміщення ріжучого інструменту тощо. Для цього подібні верстати постачають індуктивними прохідними датчиками дискретного перетворення, які повинні мати похибку, що не перевищує 2 – 10 мкм в діапазоні до 1000 – 2000 мм.

Розглянемо принцип дії такого датчика (рис. 4.8).

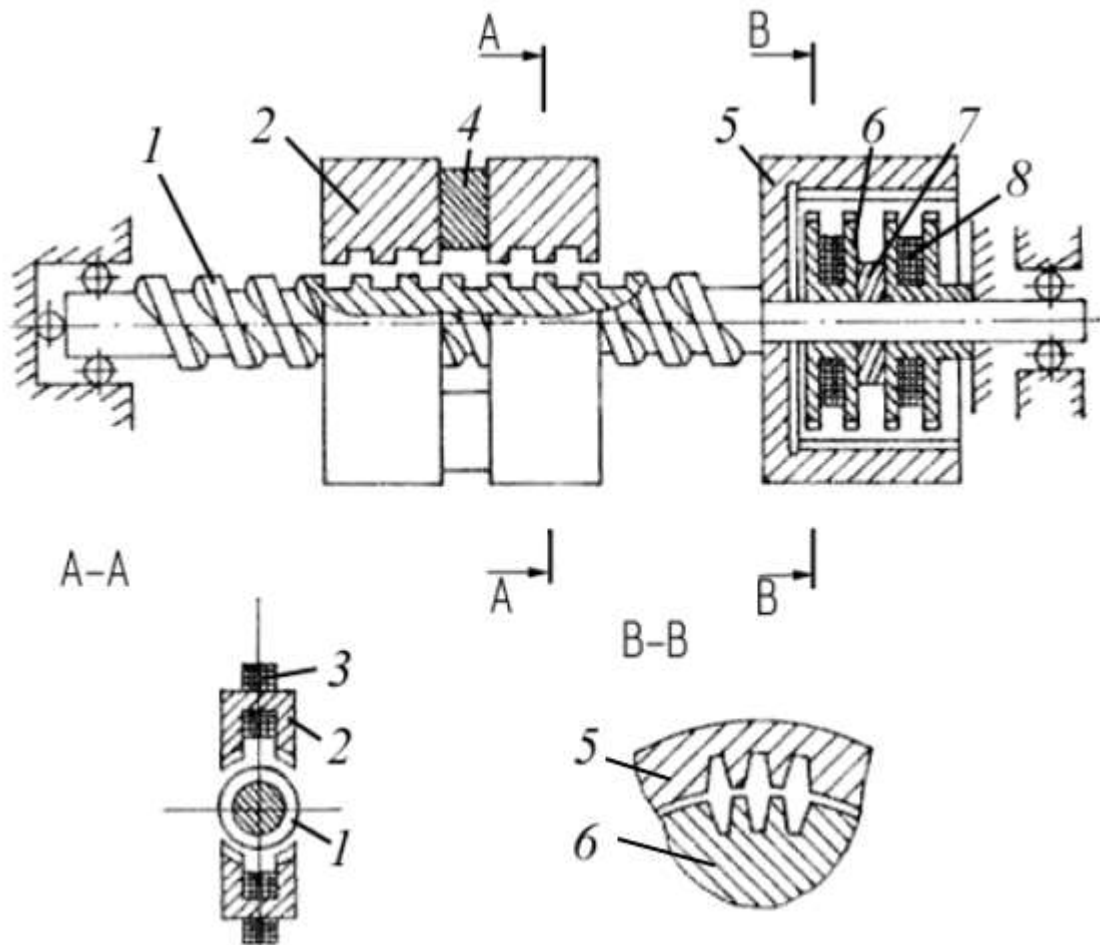


Рисунок 4.8 – Принципова схема індуктивного прохідного датчика дискретного перетворення

Відносно гвинта 1 з феромагнітного матеріалу переміщається осердя 2 у вигляді гайки з обмоткою 3. У тому випадку, коли зуби гвинта знаходяться проти зубів осердя, магнітний потік, створюваний котушкою в осерді, замикається через малий повітряний зазор між вершинами зубів, магнітний опір малий і індуктивність котушки максимальна. Якщо зуби гвинта встановлюються проти западин осердя, то повітряний зазор, через який буде замикатися магнітний потік, різко збільшиться і індуктивність котушки стане

мінімальною. Таким чином, при взаємному переміщенні гвинта і осердя індуктивність котушки буде періодично змінюватися від максимуму до мінімуму. Період зміни індуктивності дорівнює кроку гвинта T . Гайки зрушені відносно одна одної на величину, кратну $1/2 T$, за допомогою прокладок 4. Гвинт обертається в підшипниках; з гвинтом зв'язаний ротор 5 кругового індуктивного датчика. Зубчастий статор кругового датчика виконаний у вигляді двох зубчастих статорів 6 з двома котушками 8. Між статорами є прокладка 7.

Датчик працює наступним чином. У вихідному положенні гвинт 1 повернутий у деяке нульове положення. Гайка рухається разом з вузлом, переміщення якого вимірюється, в кінцеве положення. Величину переміщення, кратну $1/2 T$ гвинта, визначають за кількістю нульових значень вихідного сигналу датчика. Залишкову величину переміщення визначають за наступним дотягненням гвинта, необхідним для отримання точного нульового значення вихідного сигналу датчика.

Таким чином, загальний результат вимірювання складається з наступних величин:

$$\Delta l = 0,5TN + T/\alpha \cdot n,$$

де N – число нульових значень сигналу на виході датчика; α – число імпульсів кругового датчика, що припадає на оберт гвинта l ; n – число імпульсів на виході кругового датчика при дотягненні гвинта.

Датчик дросельного типу являє собою осердя 1 з феромагнітного матеріалу з обмоткою 2, включеного в коло змінного струму (рис. 4.9, а).

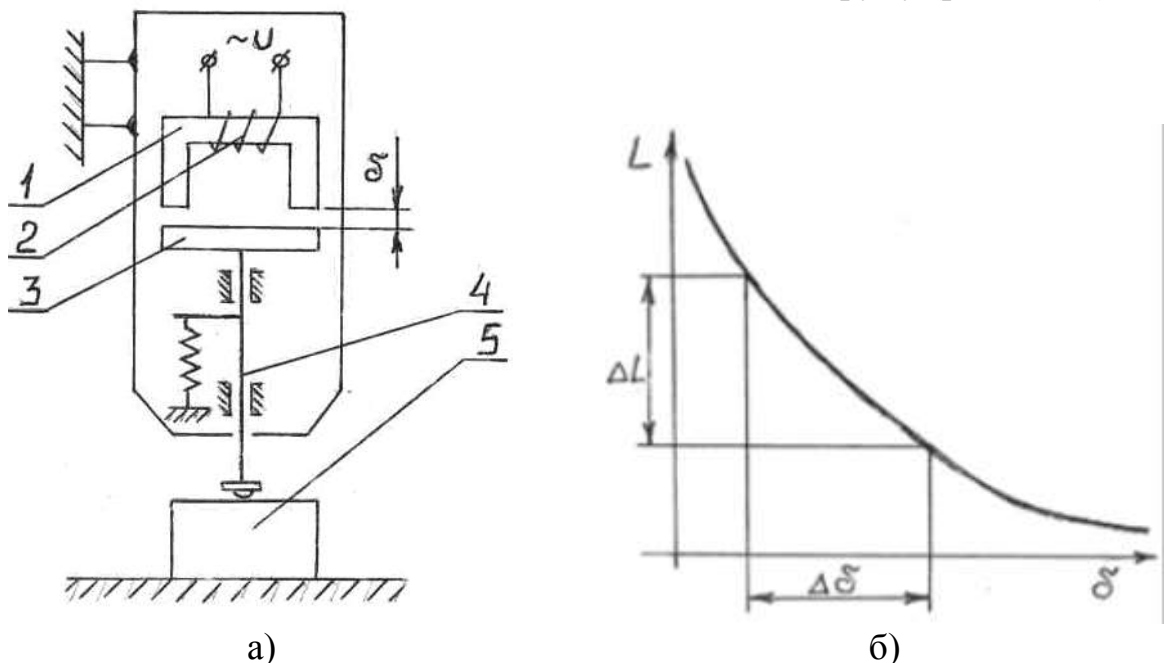


Рисунок 4.9 – Схема індуктивного датчика (а) і його статична характеристика (б)

Перед осердям розміщено якір 3, з'єднаний зі штоком 4. Осердя і якір утворюють відповідно нерухому і рухому частини магнітопровода. Віддаль між ними δ залежить від розмірів контролюваної деталі 5.

При зміні зазору між якорем і осердям буде змінюватися опір магнітопровода, а відповідно, і індуктивність обмотки датчика. Залежність між індуктивністю L і величиною повітряного зазору δ характеризується статичною характеристикою датчика. Для індуктивного датчика дросельного типу зі змінним повітряним зазором ця характеристика на ділянці $\Delta\delta$ буде близькою до лінійної. Як видно з рисунка 4.9,б чутливість датчика $S = \frac{\Delta L}{\Delta\delta}$, зростає при невеликих повітряних зазорах.

Для підвищення чутливості S і збільшення лінійного (робочого) діапазону характеристики $\Delta\delta$ індуктивні перетворювачі об'єднують попарно, отримуючи диференціальний індуктивний датчик з двома осердями і одним спільним якорем.

Індуктивні перетворювачі забезпечують високу чутливість і точність вимірювання. Завдяки простоті конструкції і надійності вони широко використовуються в сучасних вимірювальних системах і автоматичних комплексах.

1. Порядок проведення роботи.

1. Зібрати установку показану на рисунку 4.10.

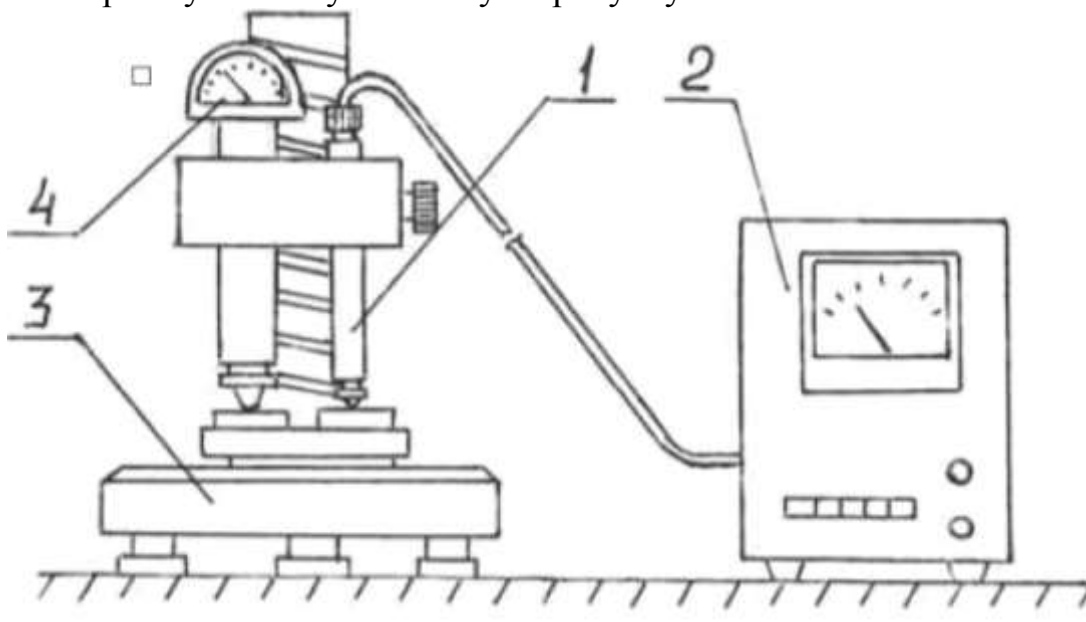


Рисунок 4.10 – Схема установки для дослідження індуктивного перетворювача: 1 – індуктивний датчик; 2 – електронний прилад; 3 – стійка мікрокаторна; 4 – вимірювальна головка

2. Включити прилад і встановити, переміщенням датчика 1 вверх-вниз, стрілку приладу 2 на «0». Стрілка головки МИГ-1 повинна знаходитися на оцифрованій відмітці.

3. Переміщувати кронштейн з датчиком і вимірювальною головкою за допомогою мікрогвинта вниз, доки стрілка приладу не займе крайнє праве положення. Покази МИГ-1 і приладу через кожні 50 мкм занести в таблицю 4.1.

4. Повторити п.3 в зворотному напрямку.

5. За даними таблиці 4.1 побудувати графік залежності показів приладу від величини переміщення $A=f(\delta)$. Зробити висновки.

Таблиця 4.1 – Покази стрілки головки МИГ-1 і приладу

Покази МИГ-1		0	50	100	150	200	250	300	350	400
Покази приладу	«вниз»									
	«вгору»									

Контрольні запитання

1. Який характер нелінійності характеристики спостерігається в індуктивних перетворювачах?

2. Які методи застосовують для збільшення робочої ділянки передатної характеристики?

3. Як впливає частота живлення вимірювальної схеми на чутливість індуктивних перетворювачів?

4. Перерахуйте основні переваги і недоліки індуктивних перетворювачів, в порівнянні з іншими типами датчиків.

5. Наведіть приклади застосування індуктивних перетворювачів, як елементів в автоматизованих вимірювальних комплексах.

Практичне заняття №5

ПНЕВМАТИЧНІ УПРАВЛЯЮЧІ ПРИЛАДИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

Мета роботи: Ознайомитись з будовою, принципом дії і дослідити характеристики пневматичного управляючого приладу.

Прилади і обладнання:

1. Пневмоелектроконтактний прилад мод. 249.
2. Блок електронних реле.
3. Стійка мікрокаторна С-VI.
4. Контрольне сопло $\varnothing 1,5$ мм.
5. Головка багатообертова МИГ-1.
6. Редуктор тиску повітря з стабілізатором.
7. Пневмотрубки, з'єднувальний кабель.
8. Кінцеві міри довжини.
9. Манометр кл. 1,0; шкала – 0 – 025 МПа (0 – 2,5 кгс/см²).

Теоретичні відомості

Пневматичні управляючі прилади працюють в комплекті з первинними вимірювальними перетворювачами типу «сопло-заслонка».

Основні функції – це вимірювання тиску повітря, що змінюється при переміщенні заслонки відносно сопла, індикація поточних значень тиску на відліковому пристрої і видача дискретних електричних команд в схему управління виконавчими механізмами.

Найбільшого поширення набули прилади, побудовані по схемі пружних манометрів. В якості чутливого елемента в цих приладах застосовують трубку Бурдона, пружні мембрани або сильфони. Більшу чутливість і високу лінійність передатної характеристики забезпечують пневматичні прилади з диференціальною схемою вимірювання.

Принципова схема пневмоелектроконтактного приладу показана на рисунку 5.1.

До корпусу розподільника повітря 5 прикріплені чутливі елементи – сильфони 4. Вільні кінці сильфонів закріплені на фланцях і зв'язані стяжками 6 і 18. До фланців кріпляться плоскі пружини 2. Сильфони з пружинами утворюють пружну систему, хід якої обмежений опорами 3. З пружною системою зв'язаний відліковий пристрій, що складається з центра 23 і стрілки 22. Центр закріплено на корундових опорах в корпусі 24. Через центр 23 перекинута тросик 21, один кінець якого закріплено на валику 20, інший – натягнутий пружиною 25. На стійках 8 за допомогою плоских пружин 10 закріплені рухомі контакти 9, що переміщуються разом з пружною системою. Регулюючі контакти 7 служать для встановлення меж спрацювання. Амплітудний контакт 14 встановлений на призмах стійок, закріплених на стяжках 6. До призми амплітудний контакт притискається пружиною 12 через

фторопластову п'ятку 13. Напроти торців амплітудного контакту розташовані з однієї сторони нерухомий контакт 11, з іншої – регулюючий контакт 15.

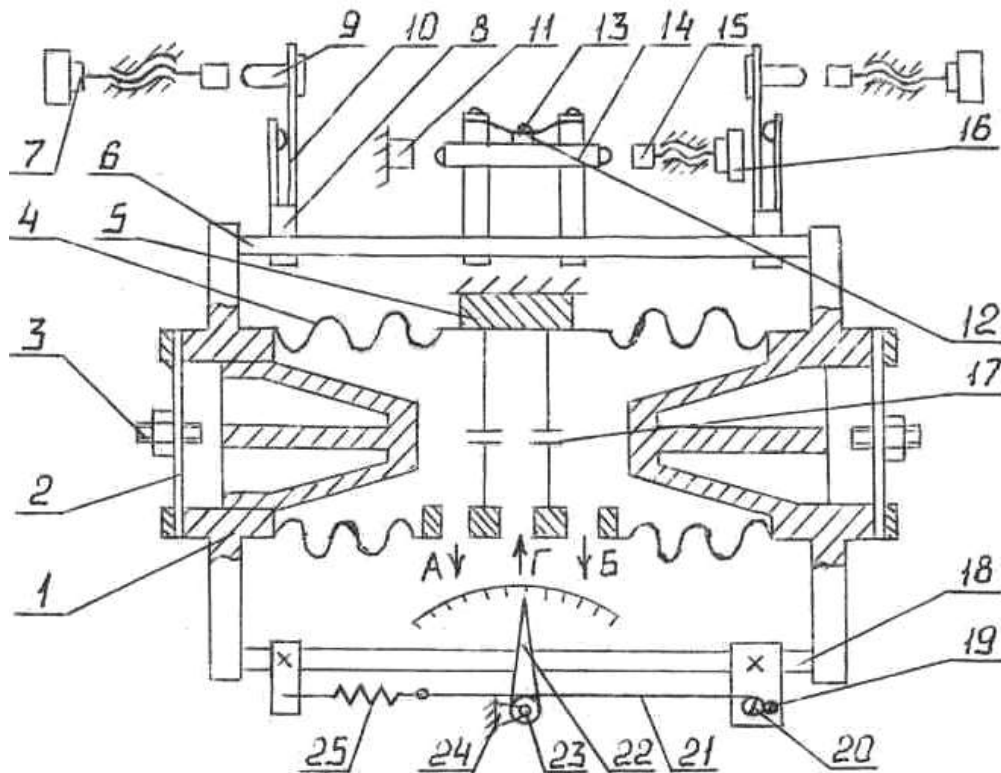


Рисунок 5.1 – Принципова схема пневмоелектроконтактного приладу

Вільні пружини сильфонів, повітрянопідвідні трубки і канали вимірювальної оснастки утворюють вимірювальну камеру.

Фланці 1 заповнюють більшу частину порожнини сильфонів, зменшуючи об'єм вимірювальної камери, що скорочує час спрацювання приладу. В корпусі розподільника встановлені вхідні сопла 17. Канал «Г» з'єднується з вузлом підготовки повітря.

Вентиль протитиску підключається до каналу «А». До каналу «Б» під'єднується вимірювальна оснастка (сопло).

Пневмоелектроконтактний прилад працює за наступним принципом. Повітря від вузла підготовки, де проходить очистка і стабілізація по тиску (робочий тиск H), підводиться до каналу «Г» розподільника 5. Через вхідні сопла 17 повітря поступає в порожнини сильфонів.

Повітря з лівого сильфона виходить в атмосферу через вентиль протитиску. В порожнині цього сильфона створюється постійний тиск h_n (протитиск). Повітря з правого сильфона підводиться до вимірювальної оснастки і через вимірювальний зазор S виходить в атмосферу. В порожнині цього сильфона створюється вимірювальний тиск h , величина якого однозначно зв'язана зі значенням контролюваного параметру. Таким чином, положення рухомої системи, а відповідно і переміщення стрілки, визначається різницею вимірювального тиску і постійного протитиску.

Порядок проведення роботи

1. Зібрати установку показану на рисунку 5.2.

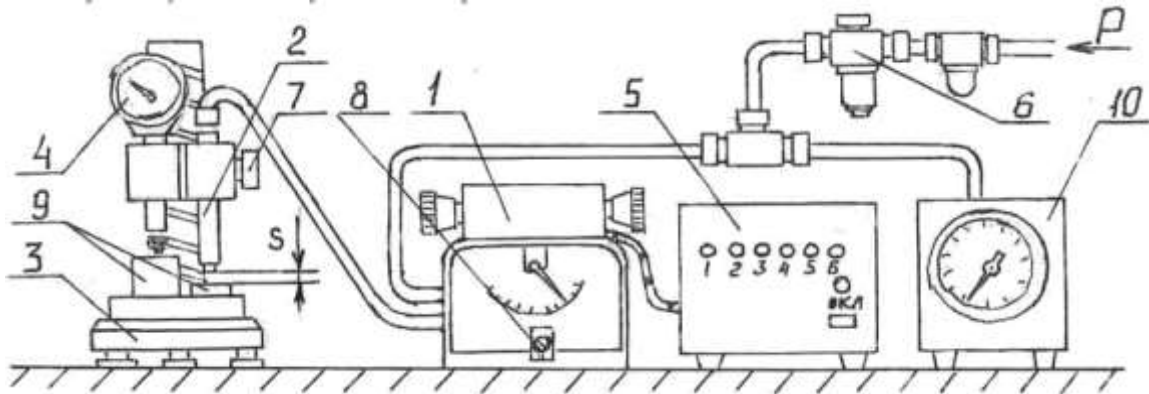


Рисунок 5.2 – Схема установки: 1 – прилад мод. 249; 2 – контрольне сопло; 3 – стійка С-VI; 4 – головка МИГ-1; 5 – електронне реле; 6 – стабілізатор тиску; 7 – гвинт мікропереміщення; 8 – вентиль протитиску; 9 – кінцеві міри довжини; 10 – контрольний манометр

2. Подати стиснуте повітря, встановивши на контрольному манометрі тиск $P = 100 \text{ кПа}$ ($1,0 \text{ кгс/см}^2$).

3. Увімкнути блок електричних реле.

4. Підбором кінцевих мір довжини встановити покази на МИГ-1 – 500 мкм і початковий зазор $S \approx 0,3 \pm 0,5 \text{ мм}$ ($300 - 500 \text{ мкм}$).

5. Вентилем протитиску 8 встановити стрілку пневмоприладу на «0».

6. Переміщуючи кронштейн з соплом МИГ-1 відносно початкового положення, відмічати покази через 10 поділок і відповідне значення показів на шкалі приладу. Отримані дані занести в таблицю 5.1.

7. За сигнальними лампами електронного реле відмітити момент спрацювання контактів.

8. Повторити п.5-7, встановивши за контрольним манометром тиск $P_2 = 0,15 \text{ МПа}$ ($1,5 \text{ кгс/см}^2$) і $P_3 = 0,2 \text{ МПа}$ ($2,0 \text{ кгс/см}^2$).

9. Побудувати графіки залежності показів приладу від величини переміщення $A = f(S)$ (рис. 5.3), зробити висновки.

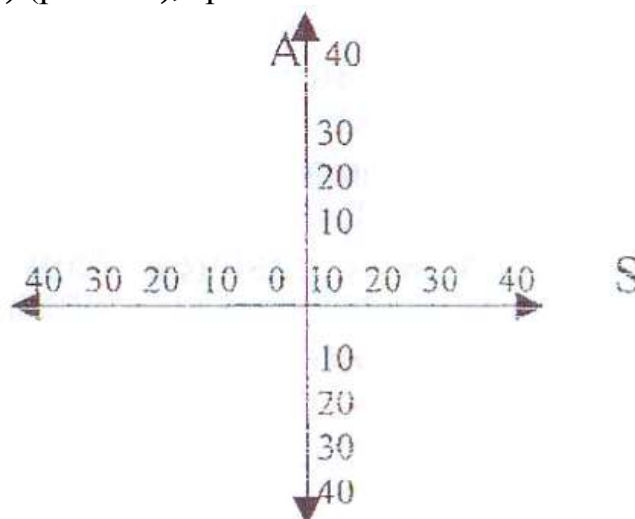


Рисунок 5.3 – Графіки $A = f(S)$

Таблиця 5.1 – Покази стрілки головки МИГ-1 і приладу

Покази МИГ-1		← переміщення вниз				0	Переміщення вверх→			
Покази приладу	$P_1=1,0$									
	$P_2=1,5$									
	$P_3=2,0$									

Контрольні питання

1. Як впливає зміна тиску повітря на чутливість приладу?
2. Зміною яких елементів можна розширити (звужити) діапазон вимірювання?
3. Поясніть призначення вентиля протитиску.
4. Для чого призначені контакти 11, 14, 15 (рис. 5.3)?
5. Чому контакти приладу неможна включати безпосередньо в схему управління?
6. Який параметр вимірювальної схеми виявляє найбільший вплив на інерційність системи?

Практичне заняття №6

ЕЛЕКТРОННІ УПРАВЛЯЮЧІ ПРИЛАДИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

Мета роботи: Ознайомитися з принципом дії і дослідити основні технічні характеристики електронного управляючого приладу активного контролю.

Прилади і обладнання:

1. Управляючий прилад МС-1 з датчиком.
2. Установка для повірки приладів активного контролю.
3. Головка вимірювальна МИГ-1.
4. Пристрій сигнальний.

Теоретичні відомості

Управляючі прилади активного контролю призначені для обробки сигналу, що поступає з вимірювального перетворювача, проміжних перетворень і формування електричних команд управління технологічним обладнанням. Як правило, ці прилади разом з датчиком (одним або декількома), встановлюються на верстатах кінцевої обробки – шліфувальних, хонінгувальних, доводочних тощо.

В даний час найбільшого поширення отримали прилади, що працюють в комплекті з індуктивними датчиками. Схема такого приладу показана на рисунку 6.1.

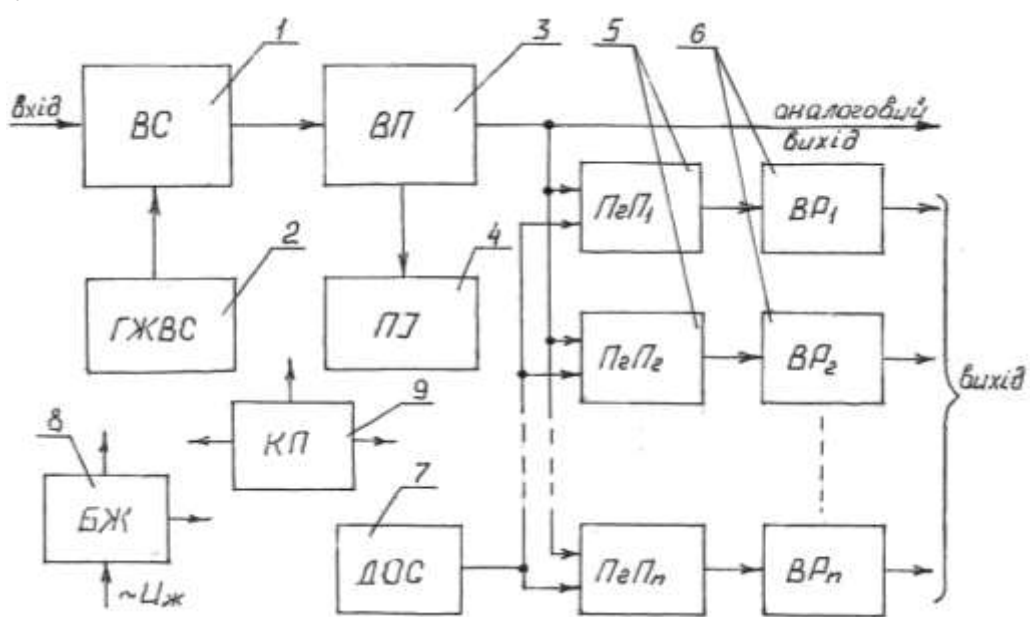


Рисунок 6.1 – Структурна схема електронного управляючого приладу активного контролю: 1 – вимірювальна схема; 2 – генератор живлення вимірювальної схеми; 3 – вимірювальний підсилювач; 4 – пристрій індикації; 5 – порогові підсилювачі; 6 – вихідні реле; 7 – джерело опорного сигналу; 8 – блок живлення; 9 – коректуючі пристрої.

Вимірювальна схема 1 електронних приладів являє собою невідновлений міст змінного струму, одне (для каскадних датчиків), або два

(для диференціальних датчиків) з плечей якого – індуктивний опір котушки датчика. Для живлення мостової схеми служить генератор змінної напруги 2.

Навантаженням вимірювальної схеми є вимірювальний підсилювач 3, в якому височастотний сигнал ($f \approx 5 \div 20$ кГц) детектується і підсилюється до нормованого значення ($0 \div 1$ В або $0 \div 10$ В). Якщо схема верстата працює від аналогового сигналу, то вихід вимірювального підсилювача 3 підключається безпосередньо до входу схеми управління верстатом. Для візуального контролю і зручності в налагодженні служить пристрій індикації розміру 4.

Порогові підсилювачі 5 призначені для формування дискретних команд управління, кількість яких відповідає числу команд. На вхід порогових підсилювачів поступає аналоговий сигнал з вимірювального підсилювача, де порівнюється з заданою величиною опорного сигналу, що створюється високостабілізованим джерелом опорного сигналу 7. Вихідні реле 6 служать для підсилення потужності дискретних команд управління. Рівень спрацювання вихідних реле задається технологічним процесом.

Для забезпечення функціонування електронних блоків схеми служить блок електричного живлення 8.

З метою стабілізації метрологічних характеристик в схему приладу можуть вводитися додаткові коректуючі пристрої 9.

Крім показаних на рисунку 6.1, у схему управляючого приладу можуть вводитися пристрої індикації режимів роботи, пристрої запам'ятовування, тестування, захисту, а також комутації, регулювання і сигналізації.

Для управляючих приладів основними технічними характеристиками є:

- діапазон вимірювання;
- граничні похибки показів в діапазоні вимірювання;
- нелінійність перетворення в діапазоні вимірювання;
- границі розмаху спрацювання дискретних команд;
- границі зміщення рівня налагодження.

Порядок проведення роботи

1. Зібрати установку, показану на рисунку 6.2.

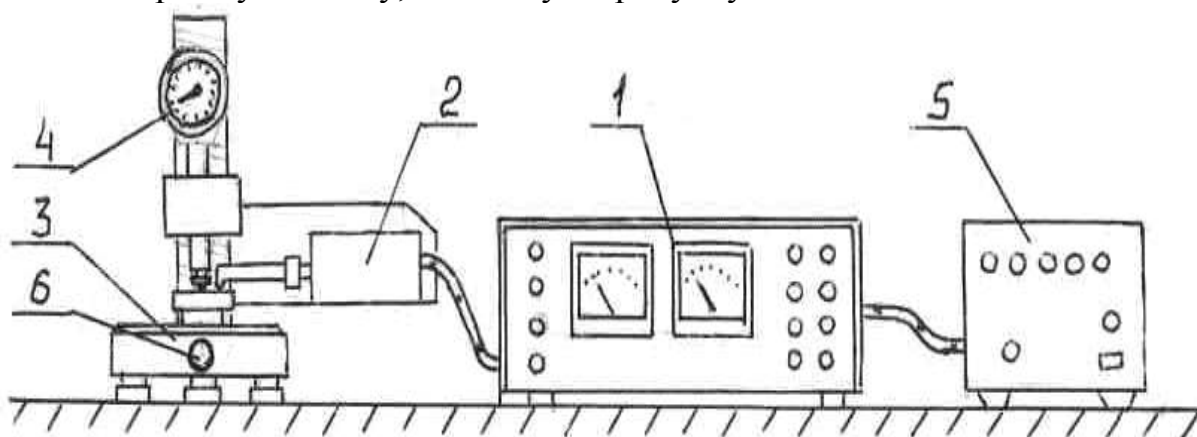


Рисунок 6.2 – Схема установки: 1 – управляючий прилад; 2 – датчик; 3 – стійка мікрокаторна; 4 – головка МИГ-1; 5 – пристрій сигнальний; 6 – гвинт вертикального переміщення столика

2. Включити прилад і встановити регулюванням по рівню поверхні столика наконечник головки МИГ-1 і щуп датчика, так щоб стрілки приладів були на «0» – відмітці.

3. За допомогою гвинта 6 повільно переміщувати столик стійки вверху, фіксуючи покази приладів: в діапазоні від 0 до 50 мкм – через 10 мкм; в діапазоні від 50 до 500 мкм – через 100 мкм. Результати вимірювань занести в таблицю 6.1. Відмітити одночасно момент включення ламп «1» ... «5», що відповідають рівню спрацювання команд (таблиця 6.2).

Таблиця 6.1 – Результати вимірювань

Покази МИГ-1		0	10	20	30	40	50	100	200	300	400	500
Покази МС-1	вверх											
	вниз											

Таблиця 6.2 – Результати моменту включення ламп, що відповідають рівню спрацювання команд

Рівень спрацювання команд	1	2	3	4	5
Переміщення вверху					
Переміщення вниз					

4. Опускаючи столик, повторити п.3 в зворотньому порядку.

5. Переміщенням столика встановити стрілку приладу МС-1 на відмітці 200 мкм. Натиском арретування на приладі МС-1 відвести щуп датчика від столика (8 – 10 разів). Відмітити покази приладу.

6. За даними таблиці 6.1 визначити:

– максимальну абсолютну похибку вимірювання

$$\Delta_{max} = |A_M| - |A_{II}|_{max}, \quad [\text{мкм}],$$

де A_M – покази МИГ-1;

A_{II} – покази МС-1.

– розмах спрацювання команд;

$$\Delta_k = |A_{Bi}| - |A_{Hi}|, \quad [\text{мкм}],$$

де A_{Bi} , A_{Hi} – покази приладу в момент спрацювання i –тої команди при переміщенні столика вверху і вниз відповідно;

– зміщення налагодження:

$$\Delta_z = A_{II} - A_A, \quad [\text{мкм}],$$

де A_{II} – покази приладу до арретування (200 мкм);

A_A – покази після арретування.

Контрольні питання

1. Поясніть призначення основних блоків електронних приладів.
2. Які допоміжні пристрої можуть бути включені в схему приладу?
3. Як впливає нелінійність передатної характеристики приладу на точність управління технологічним процесом?
4. Чому в управляючих приладах для індикації розмірів віддають перевагу стрілочним (аналоговим) відліковим пристроям?

Практичне заняття №7

СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПІДНАЛАГОДЖЕННЯ

Мета роботи: Ознайомитися з принципом дії і дослідити роботу вимірювального приладу для системи автоматичного підналагодження.

Прилади і обладнання:

1. Управляючий прилад МС-2 з імпульсним виходом.
2. Індуктивний датчик-перетворювач.
3. Стійка мікрокаторна з кранштейном.
4. Деталь типу «циліндр».
5. Контрольний пристрій.

Теоретичні відомості

Підналагодження являє собою одну з форм реалізації розмірних зворотніх зв'язків при обробці деталей на металорізальних верстатах. До підналагоджувальників відносяться вимірювальні прилади, які через кола зворотнього зв'язку викликають переміщення ріжучого інструменту (наприклад, шліфувального круга), якщо значення контролюваного параметру виходить за допустимі границі, або відхиляється від заданого значення.

На схемі (рис. 7.1) оброблені деталі 1.1 надходять на вимірювальну позицію, де їх діаметр заміряється приладом 2. При відхиленні розміру від заданого значення формується сигнал управління, який по каналу зворотнього зв'язку діє на виконавчий механізм 3. Залежно від величини і знаку відхилення розміру від заданого, виконавчий механізм – храпове колесо і гвинт мікроподачі, – переміщує шліфувальний круг 4 або на врізання, або на відвід від деталей 1, що знаходяться в зоні обробки.

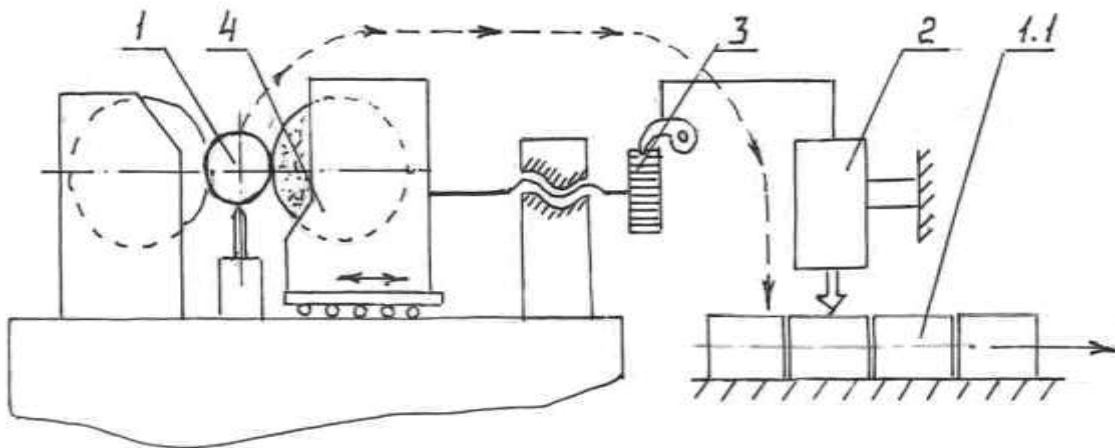


Рисунок 7.1 – Функціональна схема підналагоджувальної системи:

1-1.1 – контрольовані деталі; 2 – вимірювальний прилад; 3 – виконавчий пристрій; 4 – робочий орган верстату

Слід відмітити, що при даній схемі підналагодження, деталі, які знаходяться в проміжку між позиціями обробки і контролю, можуть мати відхилення розміру більше допустимого, так як система контролю працює з запізненням.

Щоб попередити вихід браку, збільшують чутливість вимірювального приладу, або встановлюють пристрій відведення деталей з потоку, розмір яких виходить за границі допуску.

Вимірювальні системи складаються з датчика-перетворювача і відліково-управляючого приладу. Датчик перетворює зміну розміру в проміжний сигнал, що передається на управляючий прилад. В управляючому приладі формується сигнал управління виконавчим пристроєм, що являє собою послідовність імпульсів. В залежності від величини зміни розміру змінюється або амплітуда або скважність імпульсів управління.

Порядок проведення роботи

1. Зібрати установку, показану на рисунку 7.2.

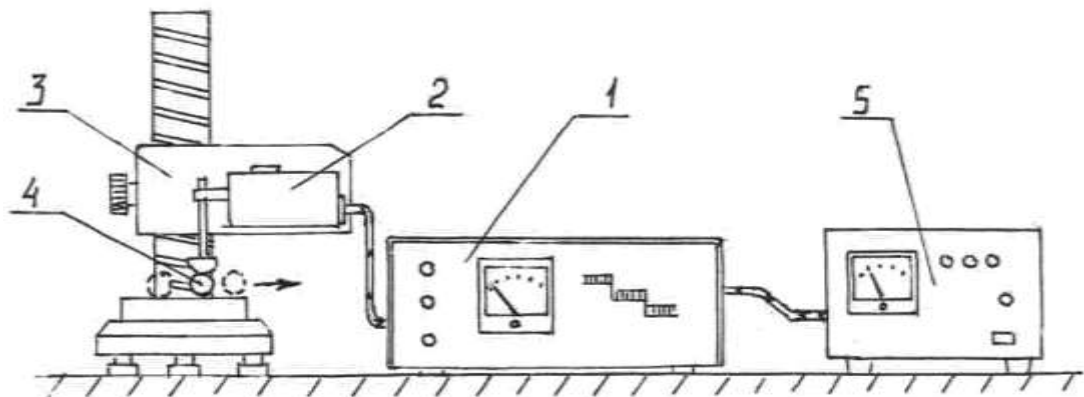


Рисунок 7.2 – Схема установки: 1 – управляючий прилад; 2 – індуктивний датчик; 3 – стійка з кронштейном; 4 – деталь; 5 – контрольний пристрій

2. Встановити датчик з вимірювальним наконечником на такій висоті над столиком стійки, щоб деталь при переміщенні проходила з незначним натягом.
3. Ввімкнути управляючий прилад і контрольний пристрій.
4. Повільно провести деталь під вимірювальним наконечником 3 – 4 рази, відмічаючи покази контрольного пристрою.
5. Опускаючи і піднімаючи кронштейн з датчиком на величину $\approx 0,1 \div 0,2$ мм (імітувати збільшення і зменшення розміру деталі) повторити п.4.
6. За отриманими даними побудувати часові діаграми вихідного сигналу управляючого приладу в координатах A, t .

Контрольні питання

1. Які переваги і недоліки характерні для системи підналагодження в порівнянні з операційним контролем?
2. Поясніть призначення і функції основних елементів систем підналагодження.
3. Як змінюється форма сигналу управління при зміні розміру контрольованої деталі?
4. Назвіть основні фактори, що впливають на точність вимірювання і методи їх усунення.

Практичне заняття №8

КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ МАШИНИ

Мета роботи: Ознайомитися з роботою трьохкоординатного вимірювального приладу ТИП-1 і взаємодією його елементів.

Прилади і обладнання:

1. Трьохкоординатний вимірювальний прилад ТИП-1.
2. Контрольна деталь.

Теоретичні відомості

Для виробів складної конфігурації при вимірюванні великого числа параметрів, для великогабаритних деталей в гнучких виробничих системах широко застосовують координатно-вимірювальні прилади і машин (КВМ). Найбільш економічним є використання КВМ при вимірюванні масивних деталей дуже складної просторової форми: блоків циліндрів двигунів; пресформ; коробок передач; корпусних деталей; штампів тощо.

Координатно-вимірювальні машини і прилади випускаються з ручним і автоматизованим управлінням, з системою автоматизованої обробки результатів вимірювання, а також з повністю автоматизованим процесом управління, вимірювання, і обробки вимірювальної інформації.

Конструктивно КВМ виконуються в двох варіантах: з рухомим вимірювальним столом, на якому встановлюється деталь і нерухомим, – в яких відносно деталі, переміщуються вимірювальні каретки, встановлені на механічних каретках. Каретки переміщуються в двох або трьох площинах. Відповідно КВМ поділяють на двохкоординатні і трьохкоординатні.

В якості вимірювальних перетворювачів, що перетворюють переміщення каретки в електричний сигнал, використовуються індуктосини, фотоелектричні і магнітні датчики. Більшість КВМ оснащені спеціальними контактними багатоточечними вимірювальними головками, які дозволяють проводити вимірювання у всіх напрямках.

Трьохкоординатний вимірювальний прилад мод. ТИП-1 (рис. 8.1) має масивну Т-подібну станину з поздовжньою і поперечною аеростатичними напрямками, по яких відповідно переміщуються відповідні каретки.

Поздовжня вимірювальна каретка одночасно є робочим столом, на якому закріплюється контрольована деталь. Поперечна вимірювальна каретка несе на собі вертикальну вимірювальну каретку, на якій закріплюється вимірювальний перетворювач з щупом. На передній панелі приладу розташовані: пульт управління, що включає задатчики переміщення вимірювальних кареток в режимі точного позиціонування; ручки регулювання розжарення освітлювальних ламп і клавіша аварійної зупинки кареток, а також пульт виклику програм.

До складу приладу мод. ТИП-1 також входять: пневмошафа (на рисунку 8.1 не показано), електронна стійка, цифродрукуючий пристрій і міні-ЕОМ.

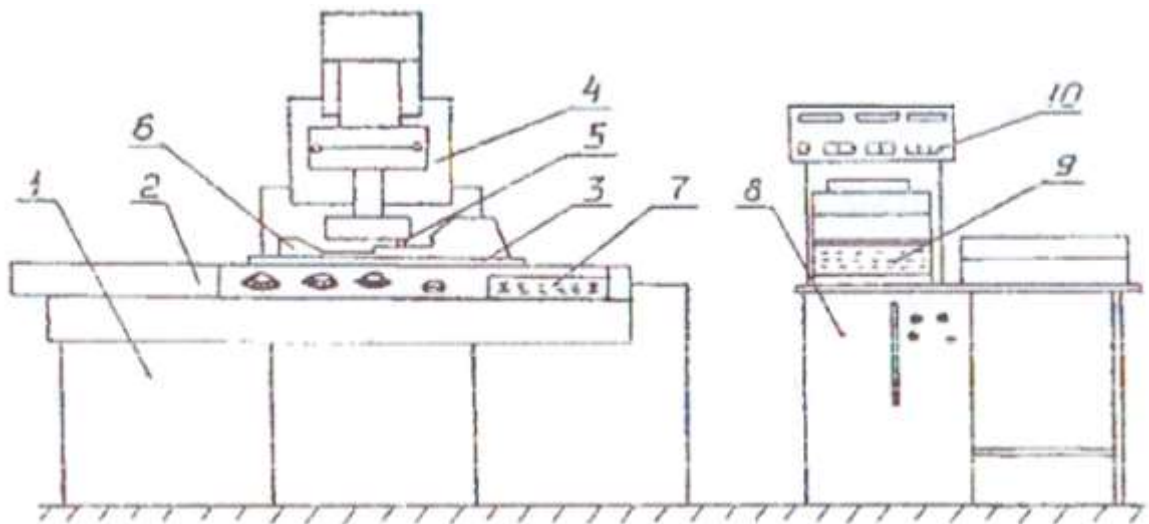


Рисунок 8.1 – Трьохкоординатний вимірювальний прилад мод. ТИП-1:
 1 – Т-подібна станина; 2 – поздовжня каретка; 3 – поперечна каретка;
 4 – вертикальна каретка; 5 – вимірювальний щуп; 6 – контрольована деталь;
 7 – панель управління; 8 – електронна стійка; 9 – цифродрукуючий пристрій; 10 – міні-ЕОМ

Порядок проведення роботи

1. Ознайомитися з технічним описом і інструкцією по експлуатації приладу.
2. Простежити за роботою приладу по заміру параметрів контрольованої деталі.
3. Описати конструкцію, призначення основних елементів і принцип дії приладу.

Контрольні питання

1. Поясніть призначення основних елементів приладу ТИП-1.
2. Для контролю параметрів яких деталей доцільно використовувати КВМ?
3. Які типи вимірювальних перетворювачів знайшли застосування в КВМ?
4. Які додаткові функції можна реалізувати в КВМ при застосуванні комп'ютерної техніки?

Практичне заняття №9

КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ РОБОТИ

Мета роботи: Ознайомитися з принципом дії і дослідити роботу координатно-вимірювального робота.

Прилади і обладнання:

1. Маніюлятор координатно-вимірювального робота.
2. Система управління роботом.
3. Техніко-експлуатаційна інструкція.

Теоретичні відомості

Промислові роботи поділяють на три покоління: до першого відносяться роботи, що працюють по жорсткій, непереналаджувальній програмі; до другого – роботи, що працюють по гнучкій програмі від мікропроцесорів і можуть частково адаптуватися до зовнішніх умов; до третього – інтегральні роботи, з елементами штучного інтелекту, можуть розпізнавати об'єкти, а також вирішувати логічні задачі для досягнення поставленої мети. Для вимірювальних і контрольних операцій можливе застосування роботів будь-якого покоління.

Головна функція координатно-вимірювального робота (КВР) – захват і переміщення предмета (деталі або вимірювального засобу) на необхідну позицію в зорієнтованому положенні і в заданий момент часу.

КВР складається з маніюлятора і системи управління. Основні елементи маніюлятора робота – основа, рука і кисть з захватним пристроєм. Супорт основи маніюлятора 1 (рис. 10.1) може переміщуватися в вертикальній площині – по осі Z; рука 2 – в горизонтальній площині – по осі X,Y; кисть 3 обертається навколо осі X, а основа з супортом 4 – навколо осі Z. Таким чином робот може маніюлювати деталями, з установкою їх в будь-якій точці робочої зони в трьохмірній системі координат.

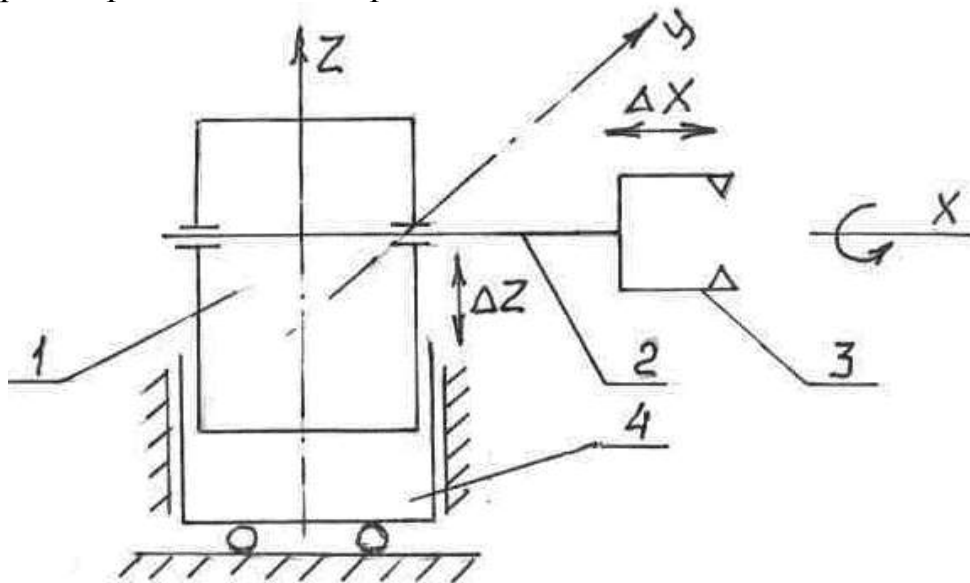


Рисунок 10.1 – Схема маніюлятора: 1 – супорт основи; 2 – рука; 3 – кисть; 4 – основа

Системи управління робота можуть працювати за жорсткою – цикловою, позиційною, контурною, контурно-позиційною і за гнучкою програмою.

Системи управління включають ряд функціональних підсистем: навчання, пам'яті, відтворення і сенсорну.

В автоматизованих виробництвах часто застосовують блочно-модульний принцип побудови КВР з використанням типових елементів. Це дозволяє компонувати великі інтегральні системи, створювати конструкції необхідної конфігурації, організовувати робототехнічні системи.

Порядок проведення роботи

1. Ознайомитися з технічним описом робота-маніпулятора, системи управління і інструкцією по експлуатації.
2. Простежити за роботою робота по заданій програмі.
3. Привести схему робота з позначення основних елементів.
4. Описати конструкцію і призначення основних елементів робота.

Контрольні питання

1. Назвіть основні технічні характеристики роботів.
2. В чому заключається модульний принцип побудови КВР?
3. Назвіть основні функції системи управління КВР.
4. Які типи датчиків використовуються для внутрішнього контролю роботи КВР?
5. Наведіть приклади типових контрольних операцій, що можуть виконуватися з допомогою КВР.

Практичне заняття №10

КОНТРОЛЬНО-СОРТУВАЛЬНІ АВТОМАТИ

Мета роботи: Ознайомитися з принципом дії і дослідити роботу коонтрольно-сортувального автомату.

Прилади і обладнання:

1. Контрольно-сортувальний автомат мод. 45201.
2. Техніко-експлуатаційна інструкція.
3. Деталі для сортування.

Теоретичні відомості

Контрольно-сортувальні автомати (КСА) призначені для розбраковки деталей за деякими параметрами на придатні і браковані, а також сортування придатних деталей на розмірні групи. КСА найбільш доцільно застосовувати в галузях з масовим і великомасштабним виробництвом. Сучасна конструкція автомата повинна забезпечувати високу продуктивність, оптимальну точність, запобігання пошкодженню і заклинювання деталей при їх переміщенні, зручність розміщення вимірювальної станції, бункера і сортувальних відсіків, легкість доступу до регулювань, високу стійкість вимірювальних поверхонь, простоту обслуговування.

Всі КСА включають повністю або частково такі пристрої: вимірювальні, завантажувальні, транспортуючі і сортувальні.

Основа КСА – вимірювальний пристрій, який визначає належність даної деталі до тієї чи іншої групи відповідно до заданих умов контролю і дає команду сортувальним пристроям на відправлення деталі в ту чи іншу групу.

Завантажувальні пристрої здійснюють орієнтацію виробів в просторі і видачу їх на транспортуючі механізми, що переміщують деталі всередині автомата. Процес транспортування охоплює операції по орієнтації виробів в просторі, подачу їх на вимірювальну позицію і знімання з неї, а також направляє деталі до відповідного каналу після сортування.

Класифікація КСА може бути проведена за такими ознаками:

- 1) за ступенем універсальності: непереналагоджувальні, тобто контролюючі деталі тільки одного виду; і переналагоджувані, які служать для контролю деталей декількох типорозмірів;
- 2) характером контролю: з переривчастим рухом виробу; з неперервним рухом виробу, де процес вимірювання відбувається під час транспортування деталі;
- 3) призначенням: для контролю розмірів деталі; для контролю маси; для контролю механічних властивостей тощо;
- 4) принципу дії: електричні, електромеханічні, механічні та ін;
- 5) кількості вимірюваних параметрів: однопозиційні і багатопозиційні.

Автомати без перетворення вимірювального імпульсу. У таких автоматах для деталей простої форми, як правило, використовуються для контролю наступні калібри: 1) жорсткі нерозсувні; 2) жорсткі регульовані; 3) клинові; 4)

відкидні тощо.

На рисунку 9.1 показана схема вимірювального пристрою для контролю розміру отвору жорсткими калібрами – пробкою з прохідним і непрохідним діаметром, що здійснює зворотно-поступальний рух, а також схема вимірювальної позиції для контролю зовнішніх діаметрів D , оснащена жорсткими дврграничними скобами, що здійснюють зворотно-поступальний рух від ексцентрикового механізму.

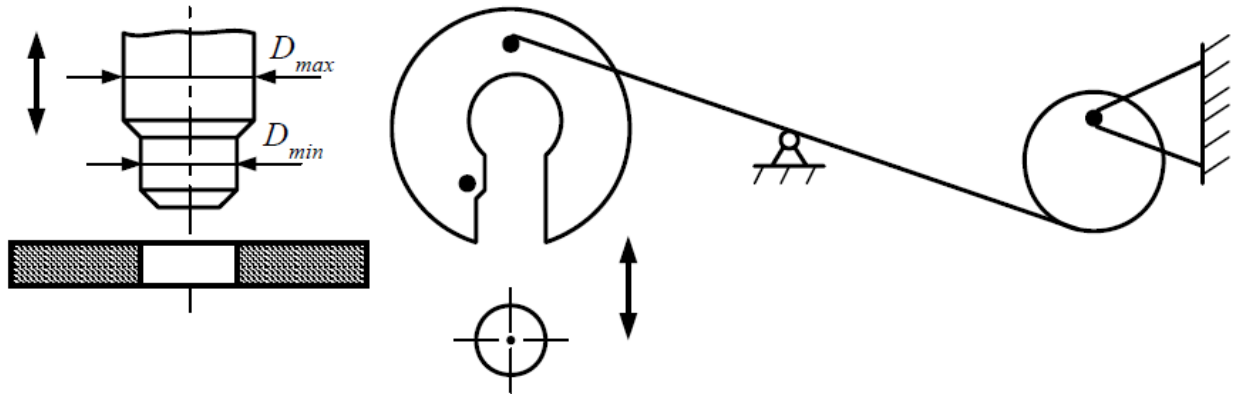


Рисунок 9.1 – Схеми вимірювальних пристроїв автоматів для контролю отворів і валів жорсткими калібрами

Вимірювальна позиція автомата з регульованими жорсткими калібрами представлена на рисунку 9.2.

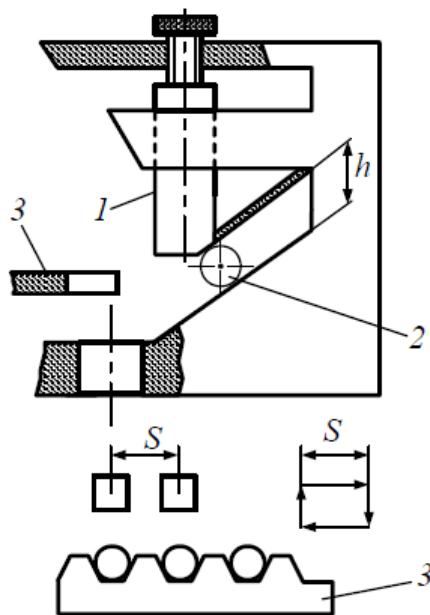


Рисунок 9.2 – Вимірювальна позиція автомата для сортування кульок за діаметром: S – крок

Сортування здійснюється за допомогою послідовно розташованих жорстких калібрів, які утворені вимірювальними площинами регульованих шпинделів 1 і опорною поверхнею 2. Переміщення кульок, що надходять з бункера, проводиться гребінкою 3, яка здійснює зворотно-поступальні рухи. Розмір h калібрів в напрямку переміщення кульок збільшується відповідно до

ступенів сортування. Кульки за допомогою гребінки подаються послідовно від калібру до калібру до тих пір, поки розмір кульки не виявиться менше розміру калібру. Кулька пройде в калібр і скотиться потім у відповідний приймач калібру.

Вимірювальні позиції автоматів з клиновими калібрами. Клинові калібри з успіхом застосовують для сортування кульок за розмірними групами. Кульки, виходячи з завантажувального пристрою, котяться по похилих лінійках, які розходяться і провалюються в сортувальні ящики залежно від своїх розмірів. Недолік такої системи схильність кульок заклинюватися між лінійками, що змушує збільшувати кут між ними і тим самим зменшувати точність контролю.

Однак подібний спосіб все ж забезпечує точність контролю в межах 1 мкм. При конструюванні клинового калібру (рис. 9.3) необхідно вибрати довжину відсіку l_0 , робочу довжину лінійок L , кут між лінійками 2α і кут нахилу лінійок у вертикальній площині β . Довжину відсіку l_0 визначають зі співвідношення $l_0 - D + 5$ мм, де D – діаметр кульки.

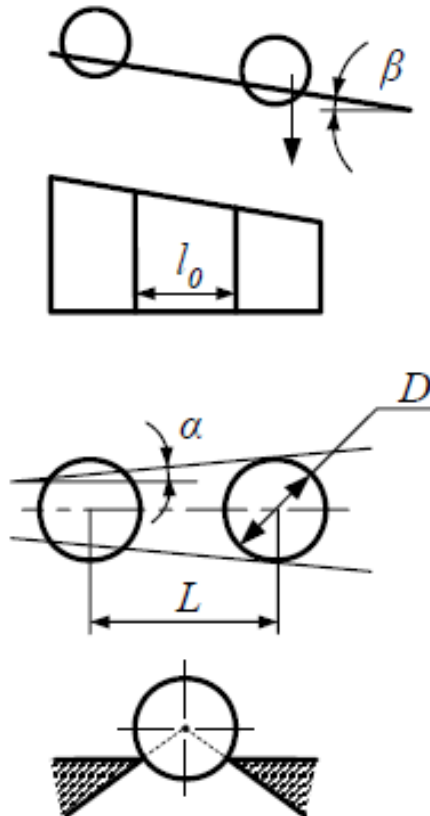


Рисунок 9.3 – Вимірювальний пристрій з клиновими калібрами для сортування кульок

Загальна довжина лінійок складе,

$$L = \frac{n(D + 5)}{\cos \beta \cos \alpha}, \quad (9.1)$$

де n – число груп розсортування.

Якщо допуск на виготовлення кульок – δ , а величина групового допуску – a , то величину кута α можна підрахувати за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{2L \cos \beta}, \quad L = \frac{(D+5)\delta}{\alpha \cos \beta \cos \alpha}. \quad (9.2)$$

Кут α зазвичай вибирають зі співвідношення $2\alpha < 2^\circ$.

Подальше збільшення кута α скорочує довжину лінійок, але при цьому значно зростають динамічні похибки розсортування. Кут нахилу лінійок β у вертикальній площині повинен вибиратися так, щоб кулька котилася без проковзування. Досвід показує, що величина цього кута зазвичай не перевищує 20° .

Клинові автомати для сортування конічних роликів з примусовим переміщенням виробів показані на рисунку 9.4.

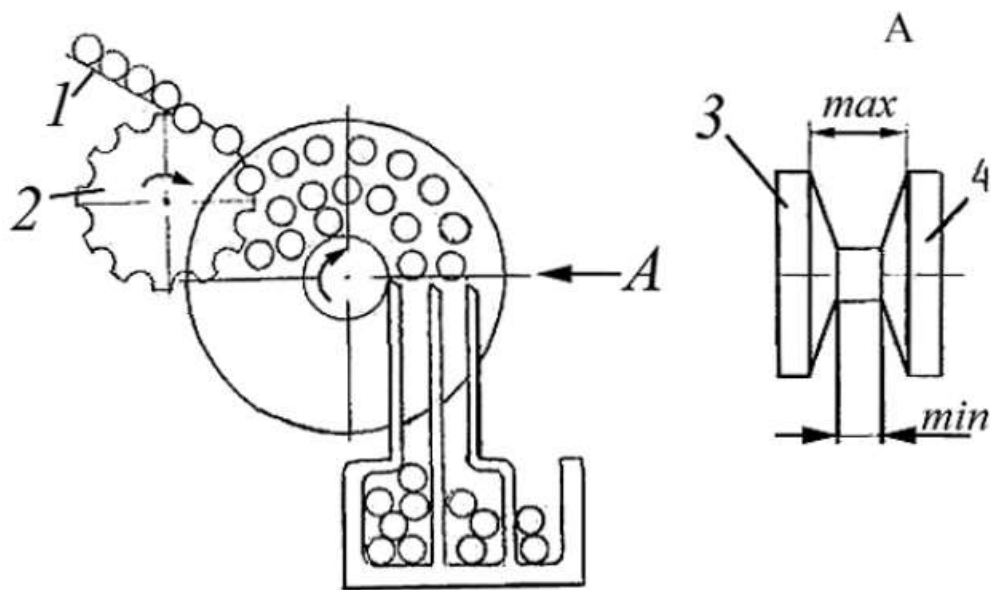


Рисунок 9.4 – Вимірювальний пристрій з клиновим калібром для сортування роликів

Ролик із завантажувального бункера через відповідний лоток 1 потрапляє у призматичні канавки транспортуючого диска 2. Транспортуючий диск, протягуючи ролик між вимірювальними дисками 3 і 4, заклинює ролик між двома конічними площинами.

Заклинені ролик, переміщаючись разом з диском у напрямку стрілки, зустрічають на своєму шляху знімачі. Ролики, що знімаються першим знімачем, потрапляють в лоток, завищені по довжині; між першим і другим знімачем потрапляють в лоток ролик, придатні по довжині; між другим і третім знімачами потрапляють ролик, занижені по довжині.

Автомат простий по конструкції, але вимагає точного виготовлення і установки вимірювальних дисків на мінімальний і максимальний розміри ролика.

Вимірювальна позиція автомата з відкидними калібрами представлена на рисунку 9.5.

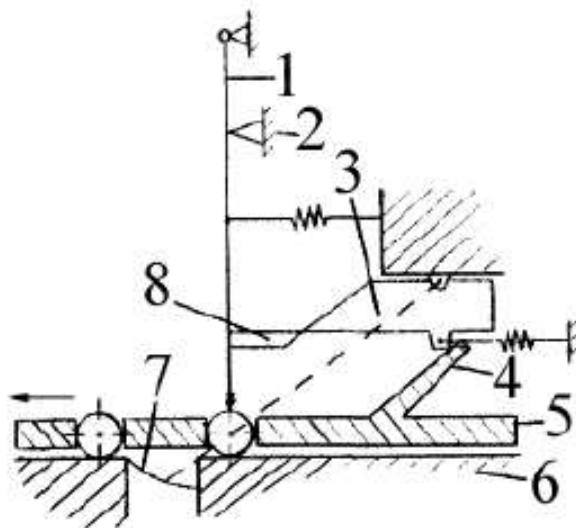


Рисунок 9.5 – Вимірювальний пристрій з відкидними калібрами: 1 – калібр; 2 – обмежувач; 3 – механічний зв’язок; 4 – упор для зведення механізму; 5 – диск, що виконує роль транспортуючого пристрою; 6 – стіл; 7 – заслінка; 8 – зуб

Вимірювальних позицій може бути декілька. Різниця – в налаштуванні, тобто в допуску на одну групу. Вимірюється деталь під дією транспортуючого диска переміщається під вимірювальну позицію, калібр якої налаштований на граничний розмір групи. Якщо розмір деталі більше калібруючого зазору між торцем калібру і столом, то калібр буде переміщатися по ходу руху деталі і в момент, коли зуб 8 звільнить поворотний пристрій, який поверне заслінку і змусить цю деталь пройти через канал, що веде до відповідної ємності. Похибка пристрою порядку 1 мкм, продуктивність до 4 тис. шт./год.

Завантажувальні пристрої КСА. Завантажувальні пристрої (ЗП) служать для створення запасу контрольованих деталей і їх орієнтації в просторі і часі для того, щоб забезпечити нормальну і безперебійну роботу вимірювального пристрою протягом запланованого періоду. Структурна схема ЗП представлена на рисунку 9.6.

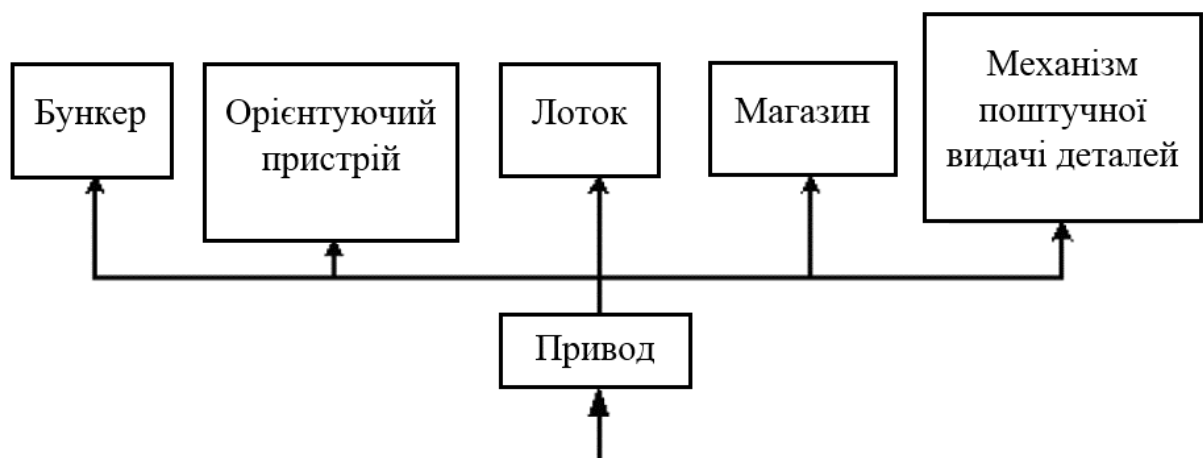


Рисунок 9.6 – Структурна схема завантажувального пристрою контрольно-сортувального автомата

Контрольовані деталі в достатній для безперебійної роботи автомата кількості поміщають у бункер (зазвичай в безладді, насипом), який виконує їх первинну орієнтацію і видає в певній послідовності.

Залежно від конфігурації контрольованих деталей може знадобитися їх додаткова просторова орієнтація, що здійснюється орієнтуючим пристроєм, який може бути і частиною бункера. Орієнтовані в просторі деталі по лотку потрапляють в магазин-накопичувач, звідки через певні проміжки часу видаються механізмом поштучної видачі (живильником) на транспортуючий пристрій автомата або безпосередньо на його вимірювальну позицію.

Таким чином, живильник є пристроєм, що орієнтує деталі в часі. Необхідні переміщення рухомих елементів завантажувального пристрою здійснюються приводом. Однак названі елементи ЗП не завжди можна виділити в «чистому» вигляді при розгляді конкретного автомата. Деякі елементи можуть бути відсутніми, або один конструктивний елемент може виконувати кілька функцій. Так часто лоток виконує одночасно і функції магазину. Необхідність магазину в складі завантажувального пристрою пояснюється тим, що продуктивність бункера через його конструктивні особливості коливається в часі, і для компенсації цього коливання доводиться накопичувати запас орієнтованих деталей в магазині. Найбільш характерними елементами ЗП є бункер (або магазин) і живильник.

Всі ЗП можна розділити на два види: автоматичні і напівавтоматичні.

Автоматичні ЗП забезпечують автоматичну орієнтацію деталей як в просторі, так і в часі. Характерна їх особливість – наявність бункера. У бункерах ЗП запас деталей в ємності розміщується безладно (насипом) (рис. 9.7). Ці ЗП мають скидач 1, захоплювач 2 і лоток 3. Правильно орієнтовані деталі пропускаються в лоток, а неправильно орієнтовані – скидаються в бункер.

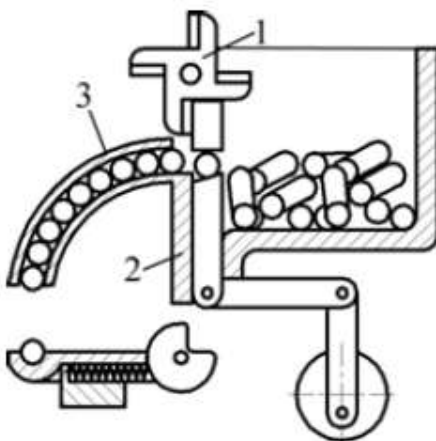
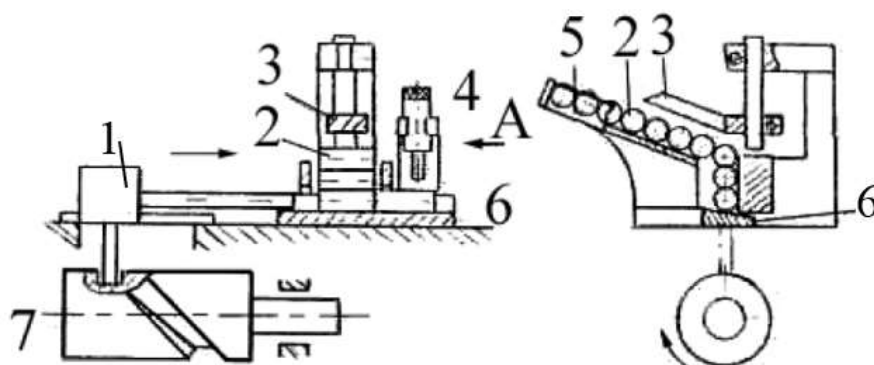


Рисунок 9.7 – Схема бункерного завантажувального пристрою

Напівавтоматичні ЗП орієнтують деталі тільки в часі. Орієнтація деталей в просторі здійснюється вручну. Характерний елемент напівавтоматичних ЗП – магазин, який послідовно завантажувється контрольованими деталями в орієнтованому положенні вручну. У зв'язку з необхідністю попередньої ручної орієнтації деталей при завантаженні їх в магазин зростає трудомісткість

A

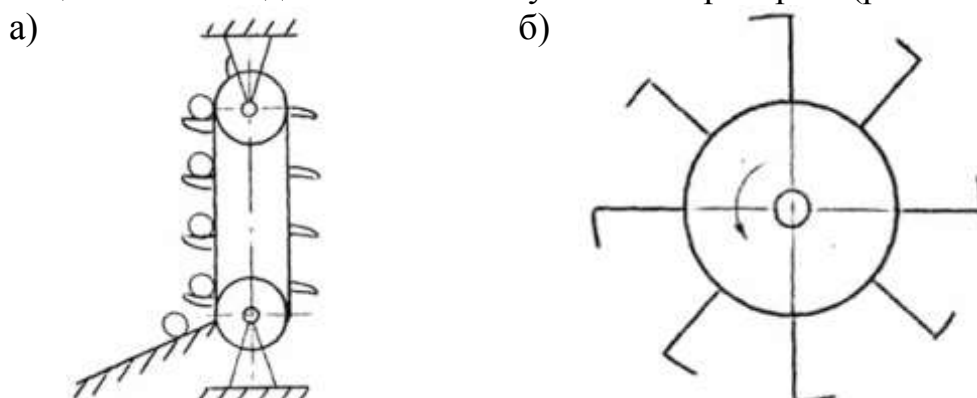


Магазин виконаний у вигляді похилого лотка 5, куди вручну завантажують ролики 2. Під дією власної ваги ролики скочуються на базуючу призму 6. Напрямна планка 3 служить для запобігання заклинювання роликів. За допомогою штовхача 1, що приводиться в рух кулачком 7, ролик подається на вимірювальну позицію з датчиком 4.

Бункерні і магазинні ЗП в залежності від способу переміщення деталей поділяються на самопливні, напівамопливні, примусові і комбіновані. У самопливному ЗП рух деталі відбувається під дією сили ваги переміщуваних деталей; у напівсамотічних ЗП – під дією сили тяжіння деталей при штучному зменшенні сили тертя між площиною деталі і поверхнею ЗП; у примусових – примусово під дією приводних механізмів; у комбінованих – безперервно або періодично під дією приводних пристроїв.

Завантажувальні пристрої в залежності від їх транспортних (несучих, захватних) пристроїв поділяються таким чином: 1) зворотно-поступальні; 2) поступальні; 3) зворотно-гойдаючі; 4) обертальні; 5) вібраційні.

Принципові схеми деяких завантажувальних пристроїв (рис. 9.9, 9.10).



67

Вибір завантажувального пристрою і його розрахунок. Для вибору і проектування ЗП із загального комплексу техніко-економічних показників використовують такі: Q_a – продуктивність КСА; t_p – необхідна тривалість роботи КСА з одного завантаження деталями без втручання обслуговуючого оператора або контролера.

Це час встановлюється виходячи з норм обслуговування автомата і з допустимості постійної зайнятості при автоматі обслуговуючого оператора; C_3 – орієнтовна допустима вартість ЗП.

Необхідна середня продуктивність ЗП визначається з продуктивності КСА:

$$Q_3 = (1,15 - 1,25)Q_a. \quad (9.3)$$

Ця продуктивність береться на 15 – 20% вище, ніж необхідна продуктивність автомата для забезпечення безперебійної роботи останнього із заданою продуктивністю.

Ємність ЗП визначають виходячи з необхідної тривалості роботи з одного завантаження і продуктивності автомата:

$$W_3 = Q_a t_p + W_{min}, \quad (9.4)$$

де W_{min} – найменше необхідне для нормальної роботи число деталей в ЗП. Орієнтовно $W_{min} = (0,15 - 30) W_3$.

На основі отриманих величин продуктивності і ємності ЗП, а також керуючись даними креслення деталі, вибирають тип ЗП (перш за все автоматичного (бункерного) або напівавтоматичного (магазинного) ЗП). Зазвичай бункерні завантажувальні пристрої застосовують для деталей масою не більше 300 г і при продуктивності контролю 1500 шт./год. Для більш масивних деталей або при меншій продуктивності контролю застосовують магазинні ЗП.

Вибір конкретної конструктивної схеми ЗП необхідно обґрунтувати перевірочним розрахунком його досяжною продуктивністю і порівнянням її розрахункової величини з необхідною.

Для бункерних ЗП з поштучного видачею деталей продуктивність завантаження:

$$Q_3 = zn\eta = v\eta/m, \quad (9.5)$$

де z – число захоплюючих органів;

n – частота обертання або число подвійних ходів захоплюючого органу за хвилину;

η – коефіцієнт ймовірності захоплення деталі захоплюючим органом;

v – швидкість руху захоплюючого органу;

m – крок захоплюючих органів.

Якщо ЗП видає деталі порціями по кілька штук, то його продуктивність:

$$Q_3 = zn\omega\eta, \quad (9.6)$$

де ω – число одночасно захоплюваних деталей.

Для пристроїв з безперервною видачею деталей:

$$Q_3 = v\eta/l_0, \quad (9.7)$$

де l_0 – довжина завантажувальної деталі в напрямку її руху.

Продуктивність магазинних ЗП визначають виходячи з часу, необхідного для переміщення деталі з її вихідного положення в магазині в живильник:

$$Q_3 = 1/t_3, \quad (9.8)$$

де t_3 – час завантаження деталі.

У магазинах з переміщенням деталі під дією власної маси час завантаження визначають за часом падіння або скочування деталі.

Якщо деталь переміщається вертикально (падає), то

$$t_3 = k\sqrt{2H/g}, \quad (9.9)$$

де H – висота падіння деталі при завантаженні;

g – прискорення вільного падіння; $k = 2 - 4$.

При русі деталі по похилій площині, наприклад в лотковому магазині,

$$t_3 = k\sqrt{2H/g(a_0 \sin \alpha)}, \quad (9.10)$$

де α – кут падіння площини до горизонту;

a_0 – прискорення руху деталі.

Якщо деталь котиться без проковзування, то

$$a_0 = \frac{g \sin \alpha}{\lambda}, \quad (9.11)$$

де λ – коефіцієнт, що враховує кінетичну енергію обертання деталі: $\lambda = 1,4$ – для кулі; $\lambda = 1,5$ – для суцільного циліндра; $\lambda = 2,0$ – для тонкостінного циліндра.

Якщо деталь ковзає по похилій площині, то

$$a_0 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha), \quad (9.12)$$

де μ – коефіцієнт тертя виробу по похилій площині.

Якщо переміщення деталей в магазині здійснюється з постійною швидкістю (стрічкові і валкові магазини), то

$$t_3 = S_0/v_3, \quad (9.13)$$

де S_0 – шлях, пройдений деталлю при завантаженні;

v_3 – швидкість переміщення деталі при завантаженні, $v_3 \leq 10 - 50$ см/с.

Перше значення – для точних КСА, друге – для грубих.

Виконавчі пристрої КСА. Виконавчі пристрої призначені для відділення браку від придатних деталей і сортування придатних деталей за окремими групами відповідно до їх результатів контролю на вимірювальних позиціях автомата.

Джерелом руху виконавчих пристроїв найчастіше є електромагніти або соленоїди, що використовуються для повороту на належний кут механічних

елементів (жолобів, заслінок або прапорців) для розсортування контрольованих деталей до відповідним приймачів.

Залежно від розмірів, маси контрольованих деталей і виду транспортного пристрою виконавчі пристрої мають різні конфігурації.

Вимірювана деталь 1 (рис. 9.10) надходить у похилий лоток 2. Якщо деталь придатна, то електромагніт 5 знаходиться під струмом і якорь 6 притягнутий. Деталь направляється в приймач придатної продукції. При надходженні бракованої деталі ланцюг живлення електромагніту розривається, якорь опускається і заслінка 3 пружиною 4 піднімається вгору, направляючи деталь в приймач браку. Повернення якоря і заслінки в початкове положення після проходження деталі проводиться за допомогою важеля 7 і кулачка 8. Останній за кожен цикл автомата здійснює один оберт.

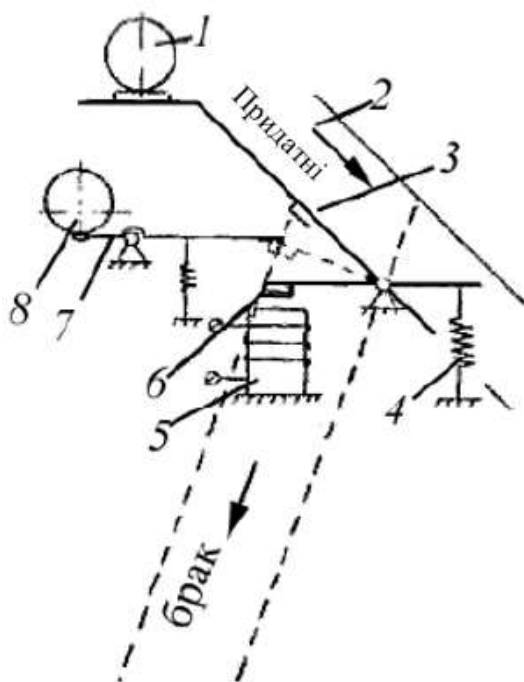


Рисунок 9.10 – Виконавчий пристрій автомата з відпадаючим якорем

Виконавчий пристрій з штовхачем (рис. 9.11) встановлюється безпосередньо на вимірювальну позицію.

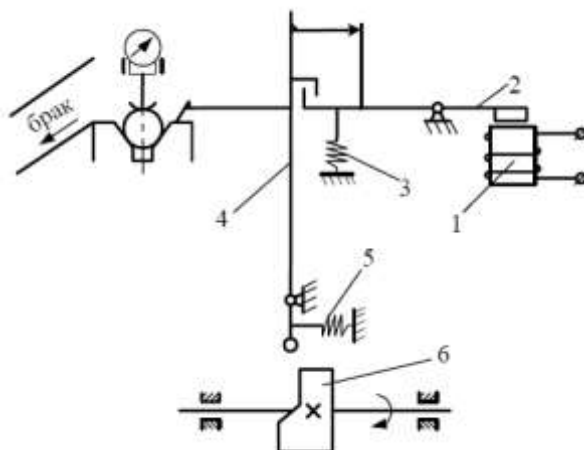


Рисунок 9.11 – Виконавчий пристрій автомата зі штовхачем

Бракована деталь відразу з позиції вимірювання зіштовхується у бункер. При надходженні на вимірювальну позицію бракованої деталі вимірювальний прилад (ЕКД) розриває ланцюг живлення електромагніту 1. Якір 2 під дією пружини 3 піднімається, звільняючи важіль 4, який під дією пружини 5 зіштовхує деталь у бункер браку. Для повернення важеля 4 у початкове положення служить кулачок 6, який здійснює за цикл роботи автомата один оберт.

Схема виконавчого пристрою з застосуванням систем заслінок. Система заслінок може застосовуватися як для громіздких, так і для легких і малогабаритних деталей (рис. 9.12).

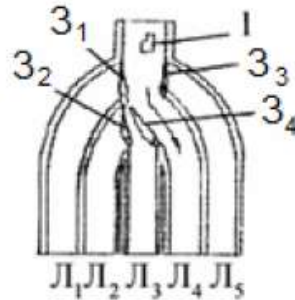


Рисунок 9.12 – Виконавчий пристрій автомата з системою заслінок

З кожною із заслінок зв'язаний певний електромагніт (на рис. не показаний). При спрацьовуванні електромагніта відповідна заслінка, наприклад $З_4$, повертається і направляє проконтрольовану деталь 1 у належний лоток $Л_4$. У знеструмленому стані електромагнітів всі заслінки відтягуються своїми пружинами, відкриваючи доступ деталі в лоток $Л_3$.

Схема виконавчого пристрою автомата з компенсаційною вимірювальною системою. Для сортування на велику кількість груп застосовують компенсаційні вимірювальні системи, що дозволяють принципово спростити процес сортування (рис. 9.13).

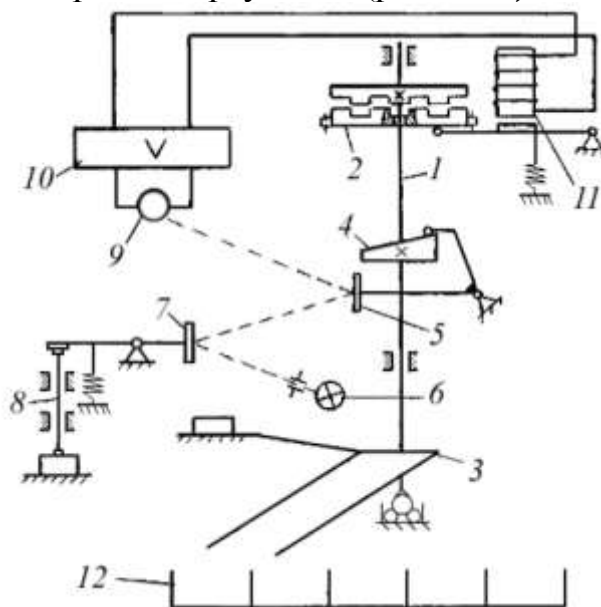


Рисунок 9.13 – Принципова схема компенсаційної вимірювальної системи автомата для сортування деталей на велику кількість груп

Обертання валу 1 передається від електроприводу через муфту 2. На валу 1 жорстко закріплені приймальний лоток 3 і кулачок 4. Останній через систему важелів повертає дзеркало 5 до тих пір, поки потік випромінювання від освітлювача 6, відбитий від дзеркала 7 вимірювального пристрою 8, що не засвітить фотоелемент 9. Сигнал від фотоелемента через підсилювач 10 подається у ланцюг живлення електромагніту 11. Електромагніт знеструмлюється і виводить із зачеплення муфту 2, тим самим зупиняючи приймальний лоток 3 проти відповідного бункера 12.

Циклограми роботи КСА. Графічне зображення послідовності роботи пристроїв контрольно-сортувальних автоматів у часі носить назву його циклограми. Цикл роботи автомата включає як час самого вимірювання, так і час допоміжних операцій.

Процес контролю деталі на КСА складається з ряду операцій, виконуваних відповідними пристроями і механізмами: завантаження деталі на транспортуючий пристрій, переміщення деталі на вимірювальну позицію, установки деталі на вимірювальну позицію, вимірювання деталі виконавчого пристрою, знімання деталі з вимірювальної позиції, викиду деталі з транспортуючого пристрою (або випадання деталі у бункер) тощо.

Тривалість циклу роботи КСА відповідно до перерахованих операцій буде дорівнювати:

$$T_{\text{ц}} = t_z + t_d + t_y + t_{\kappa} + t_c + t_e + t_o, \quad (9.14)$$

де t_z – час завантаження деталі на транспортуючий пристрій;

t_d – час переміщення (руху) деталі на вимірювальну позицію;

t_y – час установки деталі на вимірювальну позицію;

t_{κ} – час контролю деталі вимірювальним пристроєм;

t_c – час знімання деталі з вимірювальної позиції;

t_e – час випадання деталі в бункер;

t_o – час очікування до початку нового циклу.

Продуктивність автомата визначається за формулою:

$$Q = \frac{60N}{T_{\text{ц}}}, \quad (9.15)$$

де N – число одночасно контрольованих деталей;

$T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу роботи автомата в секундах.

При розрахунку продуктивності автомата в процесі проектування необхідно побудувати циклограму його роботи і розрахунковим шляхом або по аналогах знайти складові часу $T_{\text{ц}}$ (рис. 9.14).

Для КСА час контролю – час робочої операції, інші складові циклу характеризують допоміжні операції. Співвідношення між часом контрольної операції і допоміжними операціями характеризує продуктивність автомата. Аналіз цього співвідношення показує шляхи підвищення продуктивності.

Відношення суми часу допоміжних операцій, що не сумісних з контрольною операцією, до часу контролю називається коефіцієнтом

продуктивності допоміжних пристроїв автомата η_n .

№ п/п	Елемент	Час							
1.	Завантажувальний пристрій	■							
2.	Транспортуючий механізм		■				■		
3.	Встановлюючий механізм			■		■			
4.	Вимірювальний пристрій				■				
5.	Виконавчий пристрій						■		
	Найменування операцій	Завантаження	Переміщення	Установка	Контроль	Знімання	Випадання	Очікування	
	Складові T_u	t_z	t_d	t_y	t_k	t_c	t_e	t_o	

Рисунок 9.14 – Циклограма роботи контрольно-сортувального автомата

Воно визначає, у скільки разів час допоміжних операцій більший часу контролю в циклі. Час суміщених допоміжних операцій характеризується коефіцієнтом η_c – це відношення часу допоміжних операцій, суміщених з контрольною операцією, до часу контролю.

Підвищити продуктивність роботи КСА можна за рахунок інтенсифікації окремих операцій і шляхом їх поєднання. Оскільки інтенсифікація допоміжних операцій призводить до зниження надійності роботи автомата, більш ефективно поєднання операцій. Найбільший ефект можливий тоді, коли безперервно буде здійснюватися конконтрольна операція і продуктивність автомата буде залежати тільки від часу контролю.

В умовах масового і крупносерійного виробництва часто виникає необхідність в розподілі однотипних деталей на групи з однаковими допусками на розмір. Для виконання цієї операції використовуються спеціальні машини, що поєднують вимірювальні пристрої і механізми для переміщення деталей. Машини, в яких контрольні заміри, переміщення і розподіл деталей на різнорозмірні групи здійснюється автоматично, без участі людини, отримали назву – контрольно-сортувальні автомати.

Структурна схема автомата приведена на рисунку 9.15. Деталі для розсортовування за розміром завантажуються в транспортуючий пристрій ТП1 і поштучно видаються на транспортуючий пристрій ТП2, де проходять орієнтацію і підводяться до вимірювальної оснотки ВО датчика-класифікатора Д-К. В датчику формується інформаційний сигнал, що

передається на запам'ятовуючий ЗП і далі на сортуєчий СП пристрій. В запам'ятовуючому пристрої контрольна інформація зберігається на період, протягом якого контролюється деталь, з допомогою транспортуєчого пристрою ТПЗ, буде переміщена з коонтрольної позиції до сортувальних відсіків СВ1...СВn.

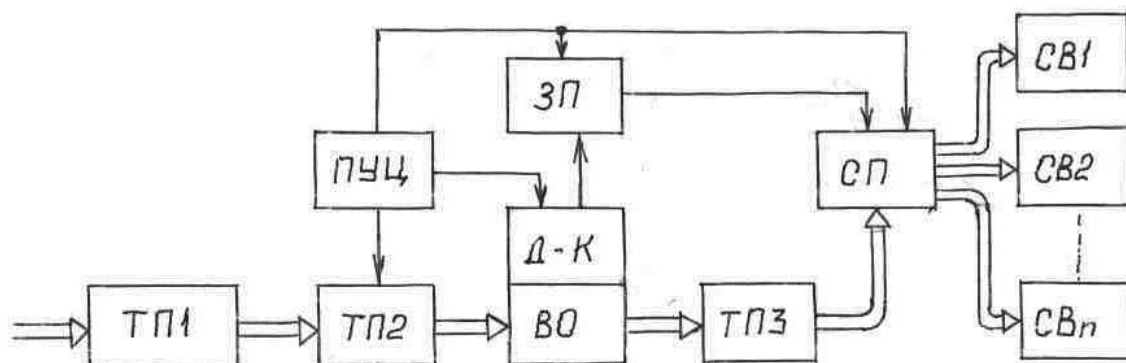


Рисунок 9.15 – ТП1-ТПЗ – транспортуєчі пристрої; ВО – вимірювальна оснастка; Д-К – датчик класифікатор; СП – сортувальний пристрій; СВ1-СВn – сортувальні відсіки; ЗП – запам'ятовуючий пристрій; ПУЦ – пристрій управління циклом

Для забезпечення узгодженої роботи всіх елементів контрольно-сортувального автомата, служить пристрій управління циклом ПУЦ.

Порядок проведення роботи

1. Ознайомитися з технічним описом і інструкцією по експлуатації контрольно-сортувального автомата.
2. Простежити за роботою КСА.
3. Привести структурну схему КСА з позначенням основних елементів.
4. Описати конструкцію і призначення основних елементів КСА.

Контрольні питання

1. . Що собою являють жорсткі калібри в КСА?
2. З яких елементів складається ЗП?
3. За якими основними критеріями проводять вибір між бункерними і магазинними ЗП?
4. Яке призначення виконавчого пристрою в контрольному автоматі?
5. Що таке циклограмма і з якою метою її будують?
6. Які первинні перетворювачі застосовано в датчиках-класифікаторах довжини і діаметра?
7. Які захисні і заобіжні пристрої виконистовуються в КСА мод. 45201?
8. Яким чином проводиться переналагодження КСА на різні типорозміри деталей?

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 : методичні вказівки до практичних занять 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. 76 с.

Комп'ютерний набір та верстка:

В. Ю. Денисюк.

Редактор: в авторській редакції.

Підп. до друку «__» _____ 2026 р.

Формат 60х84/16. Папір офс. Гарн. Таймс.

Ум. друк. арк. 4,75. Обл. – вид. арк. 4,75.

Тираж 50 прим. Зам. _____.

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