

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Пристрій для проведення вимірювання з метою визначення
конусності отворів

Виконав: студент 4 курсу, групи РВ

спеціальності 152 "Метрологія та інформаційно

вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Швець М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яворська М.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Наконечний Ю.І.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Паламар М.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра приладів і контрольно-вимірювальних систем

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Паламар М.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 152 "Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Швець Максим Ярославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Пристрій для проведення вимірювань з метою визначення конусності отворів

Керівник роботи Яворська Мирослава Іванівна, к.т.н., доцент кафедри ПВ,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 26 » 05 20_26 року № 4/9-248

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Технічна документація, технологічне креслення

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Загальнотехнічна частина

Конструкторсько-технологічна частина

Спеціальна частина

Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

10 слайдів для кваліфікаційної роботи бакалавра

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробленню пристрою для проведення вимірювань з метою визначення конусності отворів. Актуальність роботи зумовлена необхідністю забезпечення високої точності контролю внутрішніх конічних поверхонь у машинобудуванні, оскільки якість виготовлення таких поверхонь безпосередньо впливає на надійність з'єднань, точність складання вузлів та довговічність експлуатації механізмів.

Проведемо аналіз існуючих методів контролю внутрішніх поверхонь і конічних отворів. Розглянемо контактні та безконтактні способи вимірювання, виконано порівняння їхніх технічних характеристик, переваг та недоліків. На підставі проведеного аналізу обґрунтуємо доцільність застосування спеціалізованого вимірювального пристрою, який поєднує достатню точність, простоту конструкції та зручність використання.

У конструкторсько-технологічній частині буде розроблено функціональну схему пристрою та описано принцип його роботи. Конструкція забезпечує надійне базування контрольованої деталі, контакт вимірювальних елементів із внутрішньою поверхнею отвору та передачу переміщення на вимірювальний датчик. Це дозволяє визначати різницю діаметрів у заданих перерізах отвору та розраховувати його конусність. Розрахуємо кут розхилу направляючих конусів, який забезпечує необхідну чутливість вимірювального механізму та виключає можливість заклинювання. Проведемо вибір вимірювального датчика, визначено параметри прижимних пружин, пружини пневмоциліндра та подаючого пневмоциліндра.

Особливу увагу приділено оцінюванню похибок вимірювання. Враховано вплив похибок виготовлення контактних елементів, неточності встановлення базової довжини та похибки показів датчика лінійного переміщення. Результати розрахунків підтвердили можливість використання розробленого пристрою для контролю конусності отворів із необхідною точністю.

ЗМІСТ

ВСТУП

1 Загально-технічна частина

1.1 Аналіз розглядуваного питання

1.2 Аналіз розвитку методів вимірювання та сучасних засобів контролю внутрішніх поверхонь деталей

1.3 Аналіз методів і засобів контролю конічних отворів

2 Конструкторсько-технологічна частина

2.1 Опис функціональної схеми приладу

2.2 Розрахунок направляючих конусів

2.3 Підбір вимірювального датчика

2.4 Розрахунок прижимної пружини нижнього конуса

2.5 Розрахунок прижимної пружини верхнього конуса

2.6 Розрахунок параметрів пружини пневмоциліндра

2.7 Розрахунок подаючого пневмоциліндра

3 Спеціальна частина

3.1 Розрахунок похибки вимірювання приладу

3.2 САПР-модель вимірювального приладу

3.3 Наукові дослідження і математичне моделювання

4 Охорона праці

ВИСНОВОК

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні важливе значення має точний контроль геометричних параметрів деталей. Від правильності форми, розмірів і взаємного розташування поверхонь залежить якість складання, надійність роботи механізмів та довговічність технічних виробів. Особливо важливим є контроль внутрішніх конічних поверхонь, оскільки навіть незначне відхилення конусності може призвести до порушення посадки, зниження точності з'єднання та передчасного зношування деталей.

Конусні отвори широко застосовуються в машинобудуванні для центрування, базування, закріплення інструменту та забезпечення точного з'єднання деталей. Тому їх контроль є необхідною технологічною операцією як під час виготовлення, так і під час ремонту виробів. Для цього використовують різні засоби вимірювання: калібри, нутроміри, індикаторні прилади, координатно-вимірювальні машини та електронні системи контролю. Проте частина таких засобів є складною у використанні, потребує значних витрат часу або високої кваліфікації оператора.

Актуальність теми роботи полягає в необхідності розроблення зручного та точного пристрою для проведення вимірювань з метою визначення конусності отворів. Такий пристрій повинен забезпечувати надійне базування деталі, стабільний контакт вимірювальних елементів із внутрішньою поверхнею, перетворення механічного переміщення у вимірювальний сигнал та отримання достовірних результатів контролю.

Метою роботи є розроблення пристрою для визначення конусності отворів, обґрунтування його конструкції, вибір вимірювального датчика та оцінювання точності роботи приладу.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати існуючі методи контролю внутрішніх конічних поверхонь, розглянути принцип роботи пристрою, розробити його функціональну схему, виконати розрахунок

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

основних конструктивних елементів, підібрати вимірювальний датчик і провести розрахунок похибки вимірювання.

Об'єктом дослідження є процес контролю геометричних параметрів внутрішніх конічних поверхонь. Предметом дослідження є пристрій для проведення вимірювань з метою визначення конусності отворів.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання розробленого пристрою для оперативного контролю конусності отворів у виробничих, лабораторних і ремонтних умовах.

Його застосування дозволяє підвищити точність вимірювань, зменшити вплив людського фактора та покращити якість контролю деталей.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		7

1 Загально-технічна частина

1.1 Аналіз розглядуваного питання

У сучасному машинобудуванні значну увагу приділяють контролю геометричних параметрів деталей, оскільки від точності їх виготовлення залежить якість складання, працездатність і довговічність механізмів. Одним із важливих параметрів, що підлягає контролю, є конусність отворів. Конічні отвори широко застосовуються у з'єднаннях, які потребують точного центрування, надійного базування та щільного контакту між деталями.

Конусність отвору характеризує зміну його діаметра по довжині. Вона визначається різницею діаметрів у двох поперечних перерізах, віднесеною до відстані між цими перерізами.

Якщо конусність виготовлена з відхиленнями, це може призвести до неправильного прилягання деталей, порушення співвісності, зменшення площі контакту, підвищеного зношування та зниження надійності з'єднання.

Контроль конусності отворів є особливо важливим для деталей, які працюють у відповідальних вузлах машин і механізмів.

До таких деталей належать посадкові отвори, центрувальні гнізда, конічні отвори під інструмент, втулки, корпусні деталі та інші елементи машинобудівного призначення. У процесі виготовлення таких деталей необхідно забезпечити не лише правильний розмір отвору, а й відповідність його форми заданому конічному профілю.

Для контролю внутрішніх конічних поверхонь застосовують різні методи вимірювання. Найпростішими є механічні методи, до яких належать використання калібрів, конусних пробок, нутромірів та індикаторних пристроїв. Вони відносно прості у застосуванні, але не завжди дозволяють отримати достатньо повну інформацію про величину відхилення конусності.

Більш точні результати можна отримати за допомогою спеціальних вимірювальних пристроїв, у яких переміщення контактних елементів перетворюється у покази індикатора або електричний сигнал. Такі пристрої

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

дають змогу визначати різницю діаметрів у заданих перерізах отвору та на основі цього оцінювати фактичну конусність. Використання датчиків лінійних переміщень дозволяє підвищити чутливість вимірювання та зменшити вплив людського фактора.

Також для контролю внутрішніх поверхонь можуть застосовуватися безконтактні методи: оптичні, лазерні, пневматичні та координатно-вимірювальні системи. Вони забезпечують високу точність, однак часто є складнішими за конструкцією, дорожчими та потребують спеціальних умов експлуатації.

Тому для виробничих і ремонтних умов доцільним є використання простішого спеціалізованого пристрою, який забезпечує необхідну точність і зручність роботи.

Пристрій для визначення конусності отворів повинен забезпечувати правильне базування контрольованої деталі, стабільний контакт вимірювальних елементів із внутрішньою поверхнею отвору та точну передачу переміщення на вимірювальний датчик.

Важливими вимогами до такого пристрою є достатня чутливість, повторюваність результатів, простота конструкції та можливість швидкого проведення контролю.

Таким чином, аналіз розглядуваного питання показує, що контроль конусності отворів є важливою технологічною операцією, яка впливає на якість виготовлення деталей і надійність роботи з'єднань.

Розроблення спеціального пристрою для проведення таких вимірювань є актуальним завданням, оскільки дозволяє підвищити точність контролю, скоротити час вимірювання та забезпечити більш стабільну оцінку геометричних параметрів внутрішніх конічних поверхонь.

$$X = x \cdot N$$

Аналогічне співвідношення має місце для розмірності:

$$|a| = |-| \cdot |a|$$

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для проведення вказаних операцій повинні бути забезпечені дві основні передумови;

- вимірювальна фізична величина повинна бути однозначно визначена;
- одиниці вимірювання повинні бути встановлені домовленістю.

Величини та одиниці їх вимірювання, які визначаються незалежно один від одного, називаються абсолютними або основними.

Генеральною конференцією по мірам та вагам встановлено сім фізичних величин, одиниці вимірювання яких прийняті за основні: довжина, маса, час, температура, електричний струм, сила світла та кількість речовини.

В умовах масового виробництва, коли необхідні високопродуктивні засоби контролю, застосовуються спеціальні контрольні пристосування та автомати.

Таким чином, всі засоби вимірювання та контролю можна розділити на:

- а) міри або еталони;
- б) вимірювальні інструменти та прилади;
- в) калібри;
- г) контрольні пристосування та автомати.

Різноманітні потреби практики та велика кількість засобів вимірювання обумовила і різні методи, з допомогою яких відбувається вимірювання.

Розрізняють методи вимірювань:

- прямі та побічні;
- абсолютні та відносні;
- комплексні та диференціальні;
- контактні та безконтактні.

Похибка показів приладу- це різниця між показами приладу та дійсними значеннями вимірювальної величини.

Контроль внутрішнього профілю деталей (отворів, каналів, порожнин) — це міждисциплінарна задача, яка розвивалась у рамках метрології, вимірювальної техніки, неруйнівного контролю та оптики.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		10

1.2 Аналіз розвитку методів вимірювання та сучасних засобів контролю внутрішніх поверхонь деталей

Один із засновників теорії вимірювань Вільям Томсон (лорд Кельвін), що ввів принцип “виміряти — означає кількісно визначити” Заклав основу точності вимірювань і похибок.

Засновник сучасної оптичної метрології Ернст Аббе, розробив принцип Аббе (похибка вимірювання), оптичні системи контролю профілю. Його роботи — база для: оптичних методів контролю внутрішніх поверхонь. Ввів умову Аббе (межа роздільної здатності). Сформулював принцип Аббе: вимірювання має виконуватись по одній осі з об'єктом, інакше виникає похибка. Його роботи лежать в основі: оптичних вимірювальних систем, мікроскопів, лазерних методів контролю поверхні.

Карл Цейсс дав розвиток точних оптичних приладів. Співпраця з Аббе дала: мікроскопи, вимірювальні системи. Його розробки стали основою для: оптичних методів контролю поверхні, систем точних вимірювань, сучасних координатно-вимірювальних машин.

Чарльз Вітстон розробив міст Вітстона, що є основою для: тензодатчиків та індуктивних вимірювачів

Контроль внутрішнього профілю деталей (отворів, каналів, порожнин) дійсно можна виконувати різними способами — вибір залежить від точності, форми деталі та умов виробництва.

Ось найпоширеніші підходи:

1. Контактні методи (механічні)

Нутроміри (внутрішні мікрометри)

- Вимірюють діаметр отворів
- Простий і точний спосіб
- Підходить для циліндричних поверхонь

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		11

Калібри-пробки (прохід/непрохід)

- Швидкий контроль у виробництві
- Дає відповідь “придатний / непридатний”

Координатно-вимірювальні машини (КВМ)

- Висока точність (до мікронів)
- Щуп входить всередину деталі і будує 3D-модель профілю

2. Безконтактні методи

Лазерні датчики

- Сканують внутрішню поверхню
- Висока швидкість і точність
- Підходить для складних профілів

Оптичні системи (камери, ендоскопи)

- Дозволяють бачити внутрішню поверхню
- Використовуються для контролю якості та дефектів

Комп’ютерна томографія (СТ)

- Створює повну 3D модель внутрішньої геометрії
- Дуже точний, але дорогий метод

3. Спеціальні датчики

Індуктивні датчики переміщення

- Вимірюють відхилення форми і розміру
- Працюють у важких умовах

Ємнісні датчики

- Для дуже точних вимірювань малих зазорів

Пневматичні датчики (пневмонутроміри)

- Вимірюють діаметр через зміну тиску повітря
- Дуже висока точність (до мікронів)

Неруйнівний контроль

Ультразвукові датчики

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		12

- Визначають товщину стінок і дефекти

Рентген-контроль

- Дає змогу бачити внутрішню структуру
 - Для масового виробництва → калібри, пневмонутроміри
 - Для високої точності → КВМ, лазер
 - Для складної геометрії → КТ або оптичні системи
 - Для дефектів всередині → ультразвук або рентген
- Датчик вводиться всередину деталі і вимірює: діаметр, відхилення форми, шорсткість (залежно від типу)

Сигнал передається в блок обробки

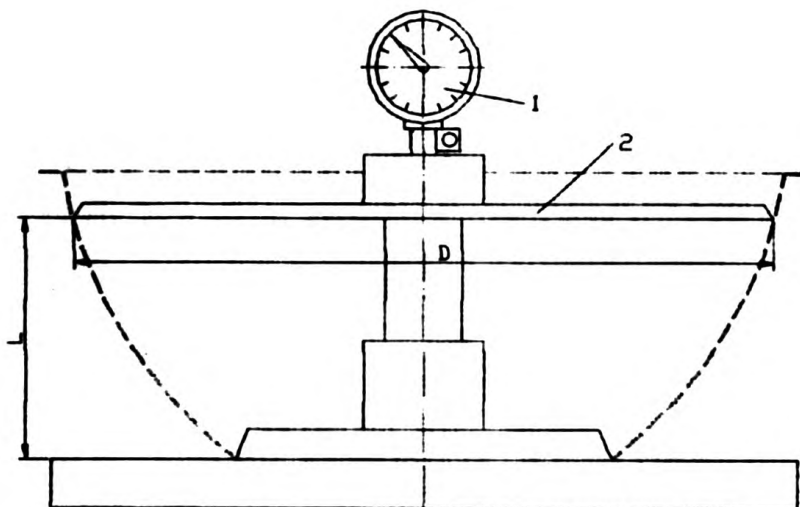
Блок обробки: підсилює сигнал і перетворює в цифровий вигляд

Індикатор / ПК: показує значення і будує профіль

Внутрішній профіль деталей можна контролювати ріноманітними способами і за допомогою різноманітних датчиків: механічних, електричних, пневматичних, оптичних та ін. Механічні засоби контролю є контактними методами.

1.3 Аналіз методів і засобів контролю конічних отворів

Найпростіший метод контролю є контроль з використанням гладких прохідних вставок, який показано на рисунку 1.1.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 036.00.00.000 ПЗ

Арк.

13

Вимірювання параметрів внутрішнього профілю деталі здійснюється за допомогою датчика (5), який встановлюється безпосередньо в контрольованому отворі. Залежно від вимог до точності та умов експлуатації можуть застосовуватися індуктивні, інваріантні або інші типи вимірювальних датчиків. Датчик перетворює зміну геометричних параметрів поверхні в електричний сигнал.

Сигнал від датчика надходить до блоку обробки сигналу (2), який включає підсилювач, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та мікроконтролер. У цьому блоці виконується підсилення, фільтрація, оцифрування та подальша математична обробка вимірювальної інформації. За результатами обробки формується вихідний сигнал $U_{\text{сиг}}$.

Оброблена інформація передається на індикатор або персональний комп'ютер (3), де відображаються результати контролю у вигляді графіків, числових значень або інших параметрів внутрішнього профілю деталі. Це дає можливість оператору оперативно оцінити якість обробленої поверхні та виявити можливі відхилення від заданих параметрів.

Для документування результатів вимірювань та проведення поглибленого аналізу передбачено підключення до персонального комп'ютера (4) через інтерфейс USB або RS-485.

Це забезпечує передачу даних, їх архівування та подальшу обробку спеціалізованим програмним забезпеченням.

Таким чином, запропонована структурна схема забезпечує автоматизований контроль внутрішнього профілю деталей, підвищує точність вимірювань, зменшує вплив людського фактора та дозволяє здійснювати оперативний аналіз результатів контролю в режимі реального часу.

Принцип роботи:

- Датчик (контактний щуп або лазер) рухається по поверхні
- Фіксує мікронерівності профілю
- Сигнал перетворюється в цифровий

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		15

- На ПК будується реальний профіль поверхні (крива)

Використання: шорсткість, хвилястість, форма профілю.

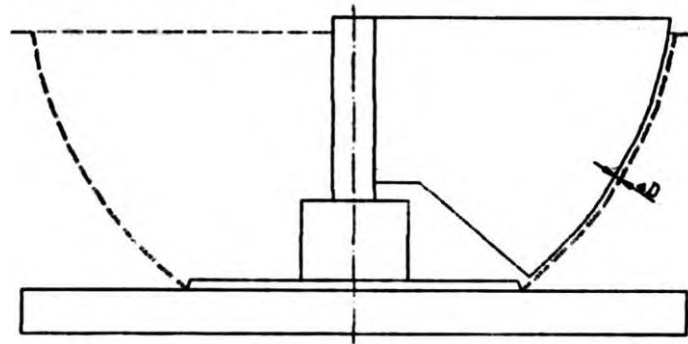


Рисунок 1.3- Схема вимірювання відхилення поверхні від профілю

Принцип роботи:

- Є заданий (еталонний) профіль
- Датчик знімає реальний профіль
- Система обчислює:
 Δ = реальний профіль – еталон
- Виводиться відхилення (у мкм)

Використання:

- контроль точності виготовлення
- перевірка допусків

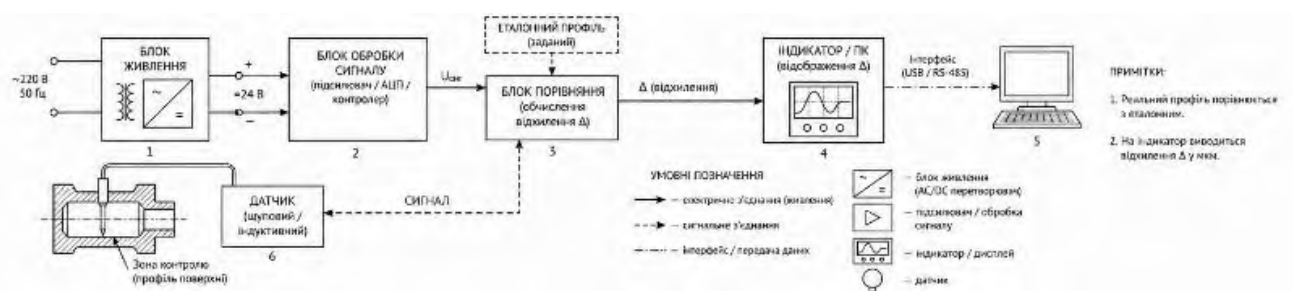


Рисунок 1.4 Схема контролю відхилення поверхні оптичним методом

Структурна схема пристрою призначена для автоматизованого контролю геометричних параметрів профілю поверхні деталі та забезпечує

отримання, обробку, порівняння і відображення результатів вимірювання в режимі реального часу.

Використання автоматизованої системи контролю дозволяє підвищити точність вимірювань, зменшити вплив людського фактора та забезпечити оперативне виявлення відхилень від заданих параметрів.

Живлення системи здійснюється від однофазної мережі змінного струму напругою 220 В частотою 50 Гц. Електрична енергія надходить до блоку живлення (1), який виконує перетворення мережевої напруги у стабілізовану постійну напругу +24 В, необхідну для роботи електронних вузлів пристрою.

Основним первинним вимірювальним елементом є датчик (6), встановлений у зоні контролю профілю поверхні деталі. Залежно від вимог до точності та умов експлуатації можуть застосовуватися індуктивні, ємнісні або інші безконтактні датчики. Під час переміщення датчика вздовж контрольованої поверхні зміна геометричних параметрів профілю перетворюється в електричний сигнал.

Сигнал від датчика надходить до блоку обробки сигналу (2), до складу якого входять підсилювач, аналого-цифровий перетворювач та мікроконтролер. У даному блоці виконується підсилення сигналу, його фільтрація від завад, перетворення в цифрову форму та попередня математична обробка. На виході формується цифровий масив даних, що характеризує реальний профіль досліджуваної поверхні.

Отримані результати передаються до блоку порівняння та обчислень (3). У цьому блоці виміряний профіль порівнюється з еталонним профілем, який задається оператором або зберігається в пам'яті системи. На основі алгоритмів порівняння визначаються величини відхилень, похибки форми та інші контрольовані параметри. Результатом роботи блоку є інформація про відповідність або невідповідність контрольованої поверхні встановленим вимогам.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

Далі оброблені дані надходять на індикатор або персональний комп'ютер (4), де відображаються графічне зображення профілю поверхні, числові значення параметрів та результати аналізу. Оператор має можливість візуально контролювати процес вимірювання та оцінювати якість поверхні деталі.

Для збереження, документування та подальшого аналізу результатів передбачено передачу інформації через інтерфейс USB або RS-485 на персональний комп'ютер (5). Це дозволяє створювати бази даних вимірювань, формувати звіти та здійснювати статистичний аналіз отриманих результатів.

Запропонована структурна схема забезпечує високоточний автоматизований контроль профілю поверхні деталей машинобудівного призначення, дозволяє своєчасно виявляти дефекти обробки та підвищує ефективність технологічного контролю на виробництві.

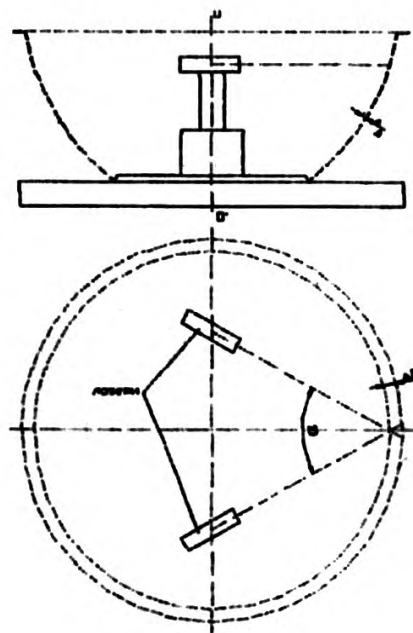


Рисунок 1.5- Схема контролю відхилення поверхні оптичним методом

Схема ілюструє принцип вимірювання внутрішнього профілю циліндричного отвору за допомогою вимірювальної головки з трьома контактними елементами. Два контакти виконують функцію базування

приладу відносно поверхні отвору, а третій є вимірювальним елементом, який реєструє відхилення профілю від номінальної форми.

У верхній частині рисунка показано поздовжній розріз вимірювального вузла. Вимірювальна головка встановлюється всередині контрольованого отвору та здійснює обертальний рух навколо осі деталі.

Під час обертання контактні елементи безперервно взаємодіють із поверхнею отвору, а вимірювальний наконечник сприймає зміну радіального положення поверхні.

У нижній частині наведено поперечний переріз отвору. Контактні елементи розташовані під певним кутом один до одного та утворюють базову вимірювальну схему.

Пунктирним колом позначено номінальний профіль отвору, а суцільною лінією – фактичний профіль контрольованої поверхні. Відхилення між фактичним та номінальним профілями викликає переміщення вимірювального наконечника, яке перетворюється датчиком у електричний сигнал.

Отриманий сигнал надходить до блоку обробки, де виконується його підсилення, фільтрація та аналіз.

Така схема широко застосовується у приладах для контролю геометричних параметрів прецизійних отворів у машинобудуванні, авіаційній та приладобудівній галузях.

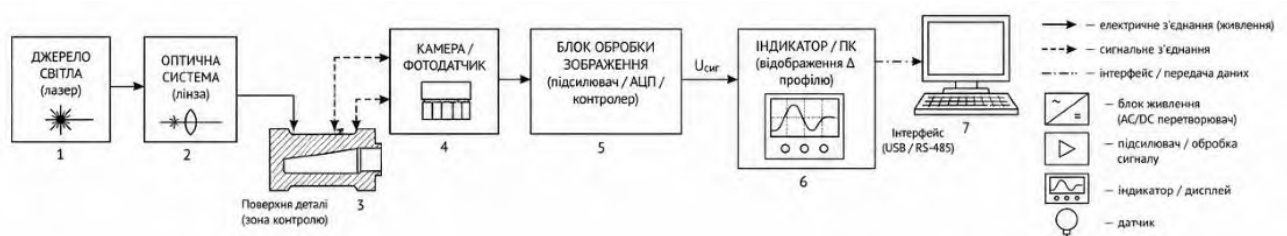


Рисунок 1.6- Структурно-функціональна схема автоматизованої системи оптичного (лазерного) контролю

Дана схема відображає архітектуру та принцип роботи автоматизованої вимірювальної системи, що призначена для безконтактного високоточного контролю геометричних параметрів деталей (зокрема, внутрішніх поверхонь складної форми), дефектоскопії та побудови профілю в реальному часі.

Принцип роботи

Джерело світла (лазер) 1 створює точний промінь світла.

Оптична система (лінза) 2 фокусує цей промінь і направляє його чітко всередину деталі 3, яку потрібно перевірити.

Промінь світла відбивається від внутрішньої стінки деталі (як від дзеркала) і потрапляє на камеру або фотодатчик 4. Якщо на поверхні є ямка чи горбик — відбитий промінь трохи зміститься вбік.

Блок обробки зображення 5 підхоплює цей сигнал, очищує його від шумів та перетворює з аналогового вигляду на цифровий (зрозумілий для комп'ютера). Індикатор 6 миттєво малює графік — лінію профілю деталі.

Якщо на лінії є стрибок, це означає, що знайдено нерівність або брак. Комп'ютер (ПК) 7 зберігає всі ці дані, дозволяє оператору керувати системою та веде історію перевірок.

Добре відомий оптичний метод, принцип роботи якого приведено на рисунку 1.3, полягає в наступному: два світлових пучки з лазерів, що обертаються навколо вертикальної осі OO і розміщені під кутом α один відносно одного у горизонтальній площині, попадають на контрольовану поверхню.

Якщо відхилення поверхні рівне нулю, то в одну точку поверхні, а якщо профіль поверхні відхиляється від заданого, то точки попадання світлових пучків на поверхню будуть віддалятися одна від одної.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		20

2 Конструкторсько-технологічна частина

2.1 Опис функціональної схеми приладу

Дана схема представляє вимірювальний прилад для контролю внутрішнього профілю або переміщення з використанням механічного щупа та перетворювача сигналу.

1. Чутливий елемент (щуп)

У нижній частині розташований:

- вимірювальний щуп (наконечник)
- контактує з поверхнею деталі
- сприймає відхилення профілю

При зміні профілю: щуп переміщується вгору/вниз

2. Передавальний механізм

Складається з:

- штока
- напрямних
- пружин

Функції:

- передає переміщення від щупа
- забезпечує стабільний контакт із поверхнею
- компенсує нерівності

Пружини створюють: постійне притискне зусилля

3. Перетворювач переміщення

У верхній частині схеми знаходиться:

- вимірювальний перетворювач (індуктивний або електромеханічний)

Функція:

- перетворює механічне переміщення штока в електричний сигнал

Типово:

- індуктивний датчик

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- диференціальний трансформатор (LVDT)

4. Електронний блок

Включає:

- підсилювач
- обробку сигналу

Функції:

- підсилення слабкого сигналу
- фільтрація шумів
- підготовка до відображення

5. Вихідний сигнал / індикація

Результат:

- сигнал передається на індикатор або систему
- відображається:
 - переміщення
 - відхилення профілю

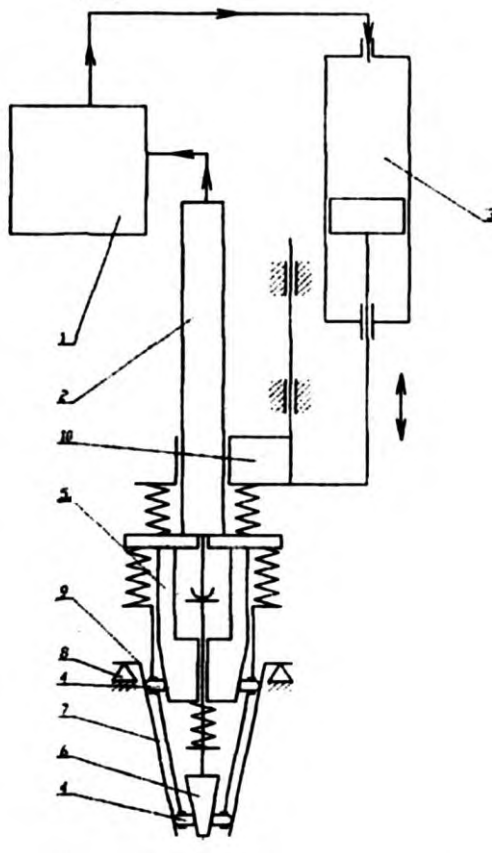


Рисунок 2.1 - Функціональна схема приладу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 036.00.00.000 ПЗ

Арк.

22

Принцип роботи приладу:

Щуп контактує з поверхнею деталі

При нерівностях виникає переміщення

Переміщення передається через шток

Перетворювач формує електричний сигнал

Функціональна схема приладу представлена на рисунку 2. Контрольована деталь 6 встановлюється на контрольну позицію, тобто на нерухомі базуючі призми 2 і прижимається до них прижимною пружиною 9. Через проміжну вставку на прижимній пружині 9 контрольована деталь 6 займає задане робоче положення. Вимірювальний вузол складається з рухомої призми 3 та рухомої колонки на кулькових направляючих для переміщення у вертикальному напрямку відносно базуючих призм 8. Сама рухома призма 3 може переміщатись у горизонтальному напрямку відносно рухомої колонки 8.

Зроблено це для надійного контакту площин рухомої призми з контрольованою поверхнею деталі. Приводить в рух вимірювальний вузол пневмоциліндр 3) через проміжну пружину, яка забезпечує задане стабільне зусилля прижиму рухомої призми до контрольованої деталі. Фіксує переміщення вимірювального вузла, яке буде залежати від діаметру контрольованої поверхні, через важільний механізм (таким самим чином збільшується чутливість приладу) датчик лінійних переміщень 5.

Роботою всього приладу керує блок керування 1, який обробляє покази з датчика переміщень 5 і керує роботою пневмоциліндру 3.

Розглянемо принцип роботи приладу. Контрольована деталь 6 встановлюється на базуючі призми і прижимається прижимною пружиною 9. Після того блок керування вмикає подаючий електромагніт за допомогою якого до контрольованої поверхні подається вимірювальна призма, стабільність прижиму якої забезпечується проміжною пружиною.

Переміщення вимірювального вузла через важіль фіксує датчик лінійних переміщень, сигнал з якого поступає на блок керування 1.

Особливості приладу: висока чутливість, можливість вимірювання мікронних відхилень, стабільність за рахунок пружин, можливість автоматизації.

2.2 Розрахунок направляючих конусів

Проведемо розрахунок кута розхилу направляючих конусів виходячи з умови забезпечення максимальної чутливості приладу і при умові відсутності заклинювання конусів і контактних роликів.

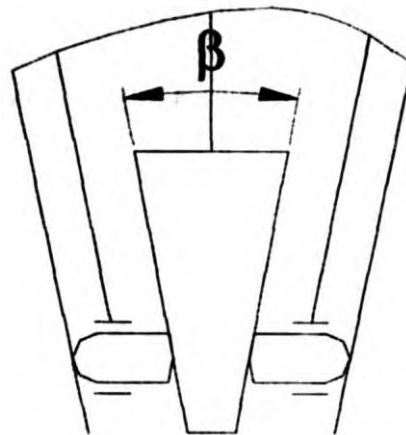


Рисунок 2.2 - Схема розрахунку конусів

Як бачимо з рисунку 3.1 для забезпечення надійного вільного без заїдань переміщення конуса кут розхилу даного повинен становити:

$$\beta \geq 2 \cdot \text{arctg}(f)$$

де f — коефіцієнт тертя між конусом і роликами.

Розрахунок кута розхилу направляючих конусів

Вихідні дані

Матеріал контактуючих елементів — сталь—сталь.

Контакт здійснюється в умовах кочення з частковим ковзанням.

Передбачено наявність змащення.

Коефіцієнт тертя приймаємо:

$$f = 0,08$$

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		24

Визначення кута тертя

Кут тертя визначається за формулою:

$$\varphi = \arctan(f)$$

Підставляємо значення:

$$\varphi = \arctan(0,08) \approx 4,57^\circ$$

Перевірка умови відсутності заклинювання

Для забезпечення відсутності самогальмування (заклинювання) необхідно виконання умови: $\beta > 2\varphi$

Обчислюємо:

$$2\varphi = 2 \cdot 4,57^\circ = 9,14^\circ$$

Прийнятий кут: $\beta = 20^\circ$

Оскільки: $20^\circ > 9,14^\circ$ то умова відсутності заклинювання виконується.

Визначення чутливості механізму

Чутливість визначається залежністю: $k = 1 / \tan(\beta/2)$

Підставляємо: $k = 1 / \tan(10^\circ) \approx 5,67$

Аналіз отриманих результатів

Отримане значення коефіцієнта чутливості: $k \approx 5,67$

Це означає, що при осьовому переміщенні конуса на 1 мм радіальне переміщення контактних роликів становитиме приблизно 5,7 мм.

Збільшення кута розхилу конусів призводить до зменшення чутливості, однак одночасно підвищує надійність роботи механізму та повністю усуває ризик заклинювання.

У результаті розрахунку встановлено, що прийняте значення кута розхилу направляючих конусів $\beta = 20^\circ$ забезпечує:

- відсутність заклинювання механізму;
- стабільну та надійну роботу приладу;
- достатню чутливість вимірювальної системи.

Таким чином, обране значення кута є обґрунтованим і може бути прийняте для подальшого проектування.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		25

2.3 Підбір вимірювального датчика

Для того щоб вибрати оптимальний датчик для вимірювання конусності, виведемо спочатку передаточну функцію нашого. Як бачимо зафіксовані покази датчика будуть складатись з двох складових:

$$x = x_1 + x_2$$

де x_1 - зміщення вимірювального штока датчика при вимірюванні верхнього діаметра D_1 ,

x_2 - зміщення вимірювального штока датчика при вимірюванні нижнього діаметра D_2

Зміщення вимірювального штока датчика при зміні діаметра D від еталонного значення на ΔD знаходимо за формулою:

$$x_1 = x_2 = \Delta D \cdot \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$$

де ΔD — зміна діаметру контрольованого конуса;

β - кут розхилу прижимного конуса. Отже передаточна функція вимірної різниці діаметрів приладу буде:

$$x = 2 \cdot \Delta D \cdot \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$$

Як бачимо чутливість приладу буде залежати від кута розхилу прижимних призм β . Підставивши числові значення, отримаємо:

$$x = 2 \cdot \Delta D \cdot \operatorname{ctg} \frac{20}{2} = 11.3 \cdot \Delta D$$

Для забезпечення надійного контролю розмірів деталей, похибка вимірювання приладу повинна бути на порядок нижчою за поле допуску контрольованого розміру.

Точність виготовлення діаметру конуса Морзе 3 становить 27 мкм, а отже чутливість приладу повинна становити максимум 9 мкм.. Отже абсолютна похибка вимірювання приладу повинна становити:

$$\Delta D = 0.1 \cdot \frac{IT}{2}$$

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		26

де ΔD - абсолютна похибка вимірювання приладу;

IT - поле допуску контрольованого розміру, IT=27 мкм.

Отже маємо:

$$\Delta D = 0.1 \cdot \frac{27 \cdot 10^{-6}}{2} = 1.35 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

або $\Delta D = 1.35$ мкм.

$$x = 11.3 \cdot 1.35 = 15.3 \text{ мкм.}$$

Як бачимо, нам потрібен датчик для вимірювання переміщень з точністю 15.3 мкм. Найоптимальнішим варіантом для нашого випадку буде інкрементний оптичний датчик. Вибираємо з каталогу датчик типу М330 з такими характеристиками:

Діапазон вимірювання - 30 мм;

Похибка вимірювання (роздільна здатність) — 5 мкм.

2.4 Розрахунок прижимної пружини нижнього конуса

Проведемо розрахунок параметрів прижимної пружини, що прижимає прижимний конус до контактних роликів.

Зусилля, яке потрібно прикласти, щоб притиснути вимірювальний ролик будемо визначати з умови, щоб поверхня ролика не руйнувала досліджувану поверхню. Максимальне зусилля будемо шукати за формулою:

$$\frac{F_{max}}{S} \leq [\sigma_{зм}]$$

де S- площа контакту ролика з досліджуваною поверхнею;

$[\sigma_{зм}]$ - допустиме напруження на зминання досліджуваного матеріалу.

Отже маємо:

$$F_{max} \leq [\sigma_{зм}] \cdot S$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$F_{max} \leq 4 \cdot 10^7 \cdot 1.44 \cdot 10^6 = 576 \text{ Н}$$

Приймаємо середнє значення зусилля прижиму:

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$F = \frac{F_{\max}}{2}$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$F = \frac{57.6}{2} = 28.8 \text{ Н}$$

Тоді робоче зусилля стиску пружини буде:

$$P = \frac{3 \cdot F}{\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}}$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$P = \frac{3 \cdot 28.8}{\operatorname{ctg} \frac{20^\circ}{2}} = 15.3$$

Знайдемо геометричні параметри віджимної пружини. Знайдемо діаметр дроту пружини:

$$d \geq 1.6 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot P \cdot c}{[\tau]}}$$

де k коефіцієнт, що враховує кривизну осі витка;

P - робоча сила стиску пружини; c - індекс пружини;

$[\tau]$ - допустима величина напруження матеріалу пружини.

Тепер знайдемо діаметр дроту пружини, задавшись значеннями c і k :

$$d \geq 1.6 \cdot \sqrt{\frac{1.1 \cdot 15.3 \cdot 10}{3 \cdot 10^8}} = 0.00059 \text{ м.}$$

Приймаємо значення $d=0,6$ мм.

Діаметр навивки пружини знайдемо за формулою:

$$D = 0.392 \cdot \frac{d^3}{k \cdot P} \cdot [\tau]$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$D = 0.392 \cdot \frac{0.6^3 \cdot 10^{-9}}{1.1 \cdot 15.3} \cdot 3 \cdot 10^8 = 0.00601 \text{ м.}$$

Приймаємо значення $D=6$ мм.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		28

Кількість робочих витків пружини знаходимо за формулою:

$$i = \frac{\lambda \cdot G \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot P}$$

де λ величина стиску пружини до заданого зусилля;

G модуль зсуву матеріалу пружини.

$$i = \frac{0.003 \cdot 8 \cdot 10^{10} \cdot 0.6 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^3 \cdot 15.3} = 11.1$$

Округляємо значення витків до $i=11$

2.5 Розрахунок прижимної пружини верхнього конуса

Аналогічним чином визначаємо параметри прижимної пружини верхнього конуса. Зусилля, яке потрібно прикласти, щоб притиснути вимірювальний ролик будемо визначати за формулою:

$$F = F_1 + F_2$$

де F_1 - зусилля стиску нижньої пружини;

F_2 - зусилля стиску шуканої пружини;

Так як зусилля прижиму контактних роликів як у верхньому так і у нижньому сеченнях однакові то маємо:

$$F = 2 \cdot F_1 = 2 \cdot 15.3 = 30.6 \text{ Н}$$

Знайдемо геометричні параметри віджимної пружини для конуса прижиму верхніх роликів. Знайдемо діаметр дроту пружини:

$$d \geq 1.6 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot F \cdot c}{[\tau]}}$$

де k коефіцієнт, що враховує кривизну осі витка;

F - робоча сила стиску пружини;

c - індекс пружини;

$[\tau]$ допустима величина напруження матеріалу пружини.

Тепер знайдемо діаметр дроту пружини, задавшись значеннями сік:

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		29

$$d \geq 1.6 \cdot \sqrt{\frac{1.1 \cdot 30.6 \cdot 10}{3 \cdot 10^8}} = 0.00089 \text{ м.}$$

Приймаємо значення $d = 0.9 \text{ мм.}$

Діаметр навівки пружини знайдемо за формулою:

$$D = 0.392 \cdot \frac{d^3}{k \cdot F} \cdot [\tau]$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$D = 0.392 \cdot \frac{0.9^3 \cdot 10^{-9}}{1.1 \cdot 30.6} \cdot 3 \cdot 10^8 = 0.0291 \text{ м}$$

Приймаємо значення $D = 22 \text{ мм.}$

Кількість робочих витків пружини знаходимо за формулою:

$$i = \frac{\lambda \cdot G \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot F}$$

де λ величина стиску пружини до заданого зусилля; G модуль зсуву матеріалу пружини.

$$i = \frac{0.003 \cdot 8 \cdot 10^{10} \cdot 0.9 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^3 \cdot 30.6} = 8.7$$

Округляємо значення витків до $i=9$.

2.6 Розрахунок параметрів пружини пневмоциліндра

Параметри прижимної пружини пневмоциліндра будемо визначати за формулою:

$$F = k \cdot m \cdot g$$

де k - коефіцієнт запасу; m - маса вимірювального вузла, що піднімається.

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$F = 1.5 \cdot 3.4 \cdot 9.8 = 49.98 \text{ Н} = 50 \text{ Н}$$

Знайдемо геометричні параметри віджимної. Знайдемо діаметр дроту пружини:

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$d \geq 1.6 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot F \cdot c}{[\tau]}}$$

де k коефіцієнт, що враховує кривизну осі витка; F - робоча сила стиску пружини; c індекс пружини; $[\tau]$ - допустима величина напруження матеріалу пружини.

Тепер знайдемо діаметр дроту пружини, задавшись значеннями c і k

$$d \geq 1.6 \cdot \sqrt{\frac{1.1 \cdot 50 \cdot 10}{3 \cdot 10^8}} = 0.00168 \text{ м.}$$

Приймаємо значення $c = 1.7$ мм.

Діаметр навивки пружини знайдемо за формулою:

$$D = 0.392 \cdot \frac{d^3}{k \cdot F} \cdot [\tau]$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$D = 0.392 \cdot \frac{1.7^3 \cdot 10^{-9}}{1.1 \cdot 50} \cdot 3 \cdot 10^8 = 0.0268 \text{ м.}$$

Приймаємо значення $D = 26$ мм.

Кількість робочих витків пружини знаходимо за формулою:

$$i = \frac{\lambda \cdot G \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot F}$$

де λ величина стиску пружини до заданого зусилля; G модуль зсуву матеріалу пружини.

$$i = \frac{0.085 \cdot 8 \cdot 10^{10} \cdot 1.7 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 10^3 \cdot 50} = 28.9$$

Округляємо значення витків до $i = 29$.

2.7 Розрахунок подаючого пневмоциліндра

Діаметр пневмоциліндра знаходимо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p \cdot \eta}}$$

де p робочий тиск в камері пневмоциліндра; η ККД пневмоциліндра;

						КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			31

F мінімальне зусилля, яке повинен забезпечити пневмоциліндр.

Мінімальне зусилля, яке повинен забезпечити пневмоциліндр знаходимо за формулою:

$$F = F_1 + F_2 + k x$$

де F_1 - зусилля прижиму вимірювального вузла; F_2 - робоча сила стиску пружини пневмоциліндра; k жорсткість пружини пневмоциліндра; x - величина робочого ходу штока пневмоциліндра.

Зусилля, яке потрібно прикласти, щоб просунути вузол будемо визначати з формули:

$$F_1 = P_1 + P_2$$

де P_1 - зусилля стиску нижньої пружини; P_2 - зусилля стиску верхньої пружини. Отже мінімальне зусилля яке повинен забезпечити пневмоциліндр буде:

$$F = P_1 + P_2 + F_2 + k x$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$P = 15.3 + 30.6 + 50 + 300 \cdot 0.085 = 121.6 \text{ Н}$$

Тоді діаметр пневмоциліндра буде:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 121.6}{3.14 \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot 0.75}} = 0.0227 \text{ м}$$

Приймаємо робочий діаметр пневмоциліндра рівним $D = 30 \text{ мм}$.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		32

3 Спеціальна частина

3.1 Розрахунок похибки вимірювання приладу

На точність вимірювання приладу будуть впливати багато факторів: точність виготовлення контактних роликів, установки базової довжини і точність показів датчика лінійного переміщення. Тому відносну похибку вимірювання можна знайти за формулою:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

де ε_1 - похибка, що виникає внаслідок неточності виготовлення контактних роликів;

ε_2 - похибка викликана неточністю установки базової довжини;

ε_3 - похибка показів датчика лінійного переміщення.

Відносну похибку, що виникає внаслідок неточності виготовлення контактних роликів ми можемо знайти за формулою:

$$\varepsilon_1 = k \cdot \sqrt{\frac{n \cdot \Delta l}{L}} \cdot 100\%$$

де Δl - допуск на виготовлення ролика;

L - довжина ролика;

n - кількість контрольованих січень;

k - кількість роликів в одному контрольованому січенні.

Підставивши числові значення отримаємо:

$$\varepsilon_1 = 2 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 0.005}{8.1}} \cdot 100\% = 8.3\%$$

Відносна похибка викликана неточністю установки базової довжини визначається за формулою:

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta S}{S} \cdot 100\%$$

де S - базова довжина; ΔS - похибка установки базової довжини.

Підставивши числові значення отримаємо:

$$\varepsilon_2 = \frac{0.1}{85} \cdot 100\% = 0.12\%$$

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		33

Відносна похибка показів датчика лінійного переміщення визначається за формулою:

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta x}{X} \cdot 100\%$$

де Δx абсолютна похибка, вимірювання датчика;

X - діапазон вимірювання датчика.

Підставивши числові значення отримаємо:

$$\varepsilon_3 = \frac{0.005}{5} \cdot 100\% = 0.1\%$$

Тоді загальна відносна похибка для вимірювання конусності деталі буде:

$$\varepsilon = 8.3 + 0.12 + 0.1 = 8.52\%$$



Рисунок 3.1 Електрична структурна схема приводу

Опис (структурна схема)

Блок живлення — формує стабільні напруги

Перетворювач (датчик) — перетворює переміщення щупа в сигнал

Підсилювач — підсилює мікросигнал

Фільтр — прибирає шуми

АЦП — переводить сигнал у цифровий

Індикатор/ПК — відображає результат

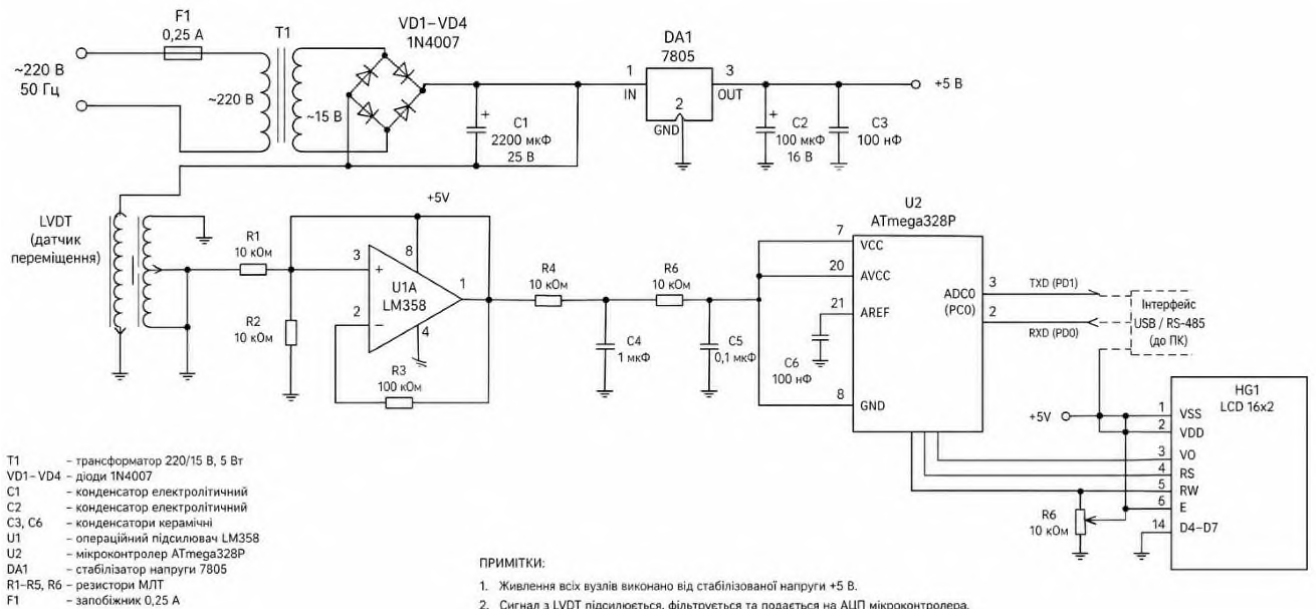


Рисунок 3.2 Принципова електрична схема приводу

Опис принципової схеми такий:

Живлення: трансформатор знижує напругу, діодний міст випрямляє, конденсатор згладжує, стабілізатор (7805) дає +5В

Вимірювальний канал: LVDT генерує змінний сигнал, амплітуда залежить від переміщення щупа.

Обробка здійснюється операційним підсилювачем (LM358): що підсилює сигнал і узгоджує рівні

RC-фільтр прибирає шум і стабілізує сигнал

Обчислення:

мікроконтролер, що зчитує сигнал через АЦП, обчислює відхилення, формує результат

Вивід даних на дисплей або ПК, що показує: переміщення, профіль, відхилення

Прилад працює за принципом:

щуп → переміщення → LVDT → сигнал → підсилення → АЦП → відображення.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

3.2 САПР-модель вимірювального приладу

Сучасне проектування вимірювальних пристроїв доцільно виконувати із застосуванням систем автоматизованого проектування (САПР), оскільки вони дають змогу не лише побудувати геометричну модель виробу, а й перевірити взаємне розташування деталей, хід рухомих вузлів, наявність можливих зіткнень, правильність вибору конструктивних параметрів та відповідність отриманої конструкції розрахунковим даним.

У даній роботі САПР-частина використовується для узагальнення результатів попередніх розділів дипломного проєкту та формування конструктивної моделі приладу для контролю внутрішнього профілю деталі.

Об'єктом САПР-моделювання є вимірювальний прилад, до складу якого входять базова плита, нерухомі та рухомі напрямляючі елементи, конусно-роликівий вимірювальний вузол, пружини стабільного притиску, пневмоциліндр, датчик лінійного переміщення, важільно-передавальний механізм та електронний блок обробки сигналу.

Раніше в роботі було виконано розрахунок направляючих конусів, підібрано вимірювальний датчик, визначено параметри пружин, розраховано подаючий пневмоциліндр та оцінено похибку вимірювання.

Тому основне завдання цього підрозділу полягає в тому, щоб показати, яким чином зазначені розрахункові дані можуть бути використані під час створення комп'ютерної моделі виробу.

Метою використання САПР є створення параметричної моделі вимірювального приладу, яка дозволяє перевірити працездатність конструкції до виготовлення дослідного зразка.

Такий підхід зменшує кількість помилок на етапі розроблення, спрощує внесення змін у конструкцію та дозволяє швидко отримати креслення деталей і складальної одиниці.

До основних задач САПР-моделювання даного приладу належать: побудова окремих 3D-моделей деталей; формування складальної одиниці;

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		36

та нерухомих елементів. Вимірювальний вузол виконується рухомим і містить конусно-роликову систему, через яку зміна геометрії контрольованої поверхні перетворюється у переміщення штока.

Пружини забезпечують стабільне притискне зусилля, а пневмоциліндр здійснює подачу вимірювального вузла до робочого положення.

Датчик лінійного переміщення реєструє переміщення і передає сигнал до блоку обробки.

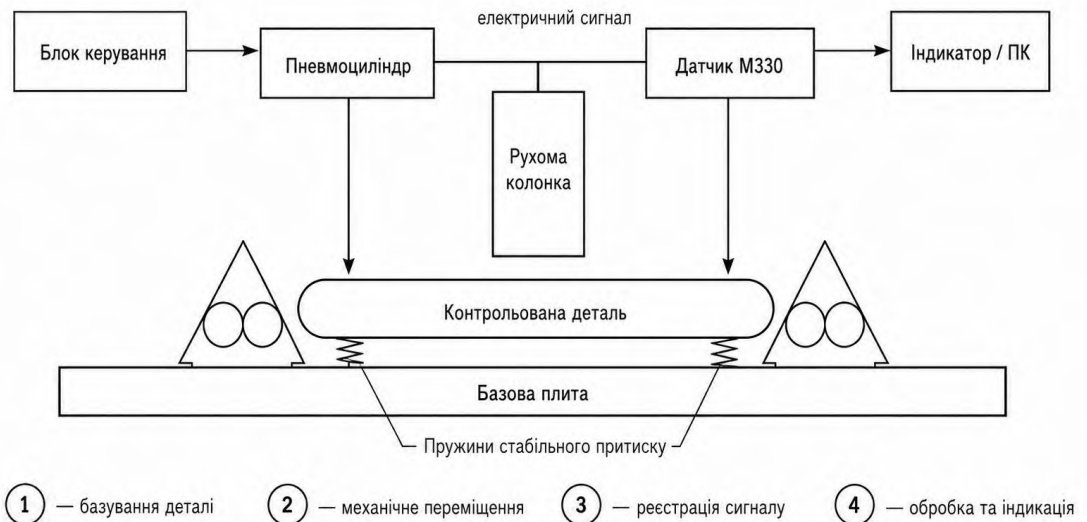


Рисунок 3.3 – Узагальнена САПР-модель вимірювального приладу

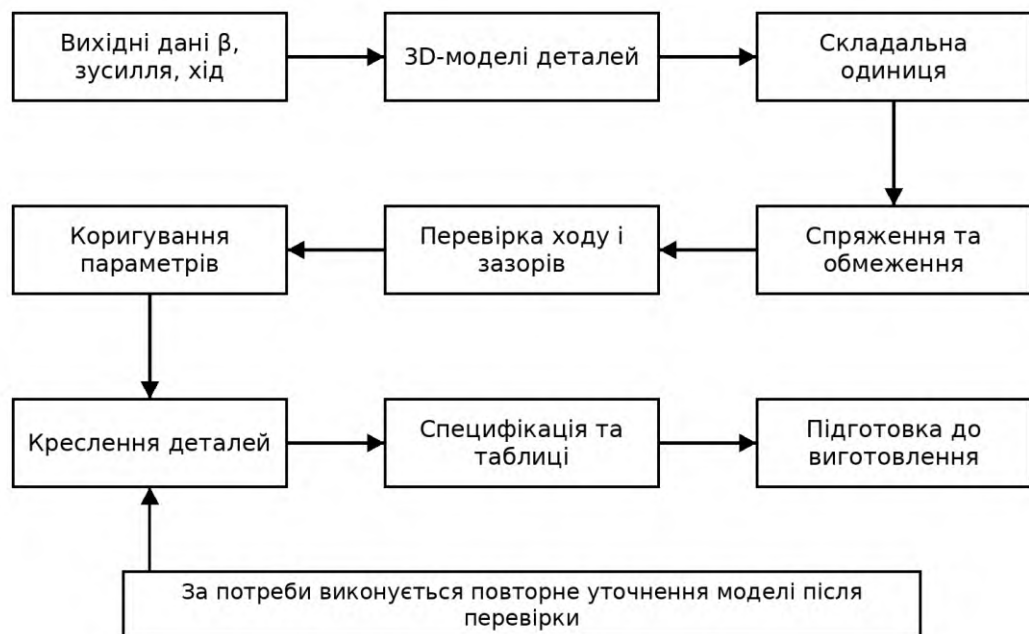


Рисунок 3.4 – Алгоритм виконання САПР-моделювання приладу

Таблиця 3.2 – Основні етапи побудови деталей у САПР

Етап	Операції САПР	Результат
Побудова базової плити	Ескіз, витягування, отвори під кріплення	Формується нерухома основа приладу
Моделювання базуючих призм	Ескіз профілю, витягування, фаски	Забезпечується встановлення деталі
Моделювання напрямляючих конусів	Тіло обертання, задання кута $\beta = 20^\circ$	Перевіряється умова відсутності заклинювання
Побудова контактних роликів	Тіло обертання, задання осей	Забезпечується контакт з конусом і деталлю
Моделювання пружин	Спіраль, круглий переріз, розрахункова кількість витків	Відображається вузол стабільного притиску
Побудова пневмоциліндра	Циліндричні поверхні, шток, корпус	Забезпечується подача вимірювального вузла
Розміщення датчика М330	Умовна модель корпусу та штока	Перевіряється діапазон вимірювання
Формування складання	Спряження, співвісність, обмеження ходу	Отримується повна модель приладу

Під час побудови складальної моделі особливу увагу необхідно приділити правильному розташуванню контрольованої деталі відносно базових елементів. Деталь повинна займати стале положення на призмах, оскільки будь-яке зміщення бази створює додаткову похибку вимірювання.

Рухомий вузол повинен мати лише ті ступені вільності, які необхідні для виконання робочого переміщення, а інші переміщення повинні бути обмежені спряженнями.

Послідовність виконання САПР-моделювання. Процес створення моделі доцільно виконувати послідовно. Спочатку задаються вихідні параметри, отримані в розрахунковій частині, після чого будуються окремі деталі.

Далі ці деталі об'єднуються у складальну одиницю, де задаються співвісності, паралельності, контактні спряження, обмеження ходу та зазори. Після цього виконується перевірка взаємного переміщення деталей, аналіз можливих зіткнень, уточнення розмірів та формування креслень.

Параметрична модель конусно-роликового вузла.

Конусно-роликовий вузол є одним з найважливіших елементів приладу, оскільки саме він забезпечує механічне перетворення зміни діаметра контрольованої поверхні у переміщення вимірювального штока.

Для забезпечення надійної роботи вузла в САПР необхідно задати кут розхилу конуса, положення роликів, напрямок руху штока та обмеження контактних поверхонь.

Основною умовою роботи вузла є відсутність заклинювання між напрямляючим конусом і контактними роликами.

Для цього кут розхилу конуса повинен бути більшим за подвоєний кут тертя.

У розрахунковій частині прийнято коефіцієнт тертя $f = 0,08$, для якого кут тертя становить приблизно $4,57^\circ$.

Відповідно, мінімальна умова має вигляд $\beta > 9,14^\circ$.

Прийняте значення $\beta = 20^\circ$ забезпечує запас і дозволяє застосувати його у параметричній моделі.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		40

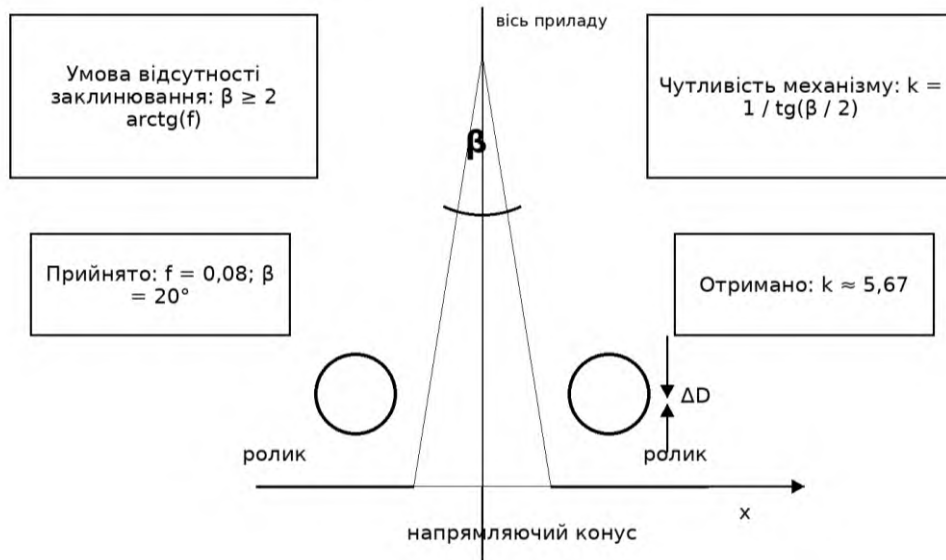


Рисунок 3.5 – Параметрична схема конусно-роликового вузла

У параметричній моделі доцільно зв'язати кут β із чутливістю механізму. Залежність чутливості можна записати у вигляді:

$$k = 1 / \operatorname{tg}(\beta / 2),$$

де k – коефіцієнт чутливості конусного механізму; β – кут розхилу спрявляючого конуса. Для $\beta = 20^\circ$ отримуємо $k \approx 5,67$.

Це означає, що незначна зміна положення конусно-роликової системи може бути збільшена механічною передачею та зафіксована датчиком переміщення.

Математична модель вимірювального каналу

Вимірювальний канал приладу можна подати як послідовність перетворень: зміна діаметра контрольованої поверхні викликає переміщення контактного вузла, це переміщення передається на шток датчика, після чого датчик формує електричний сигнал.

Сигнал підсилюється, фільтрується, перетворюється в цифровий вигляд та відображається на індикаторі або персональному комп'ютері.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Таким чином, при зміні діаметра на 1,35 мкм переміщення штока становитиме приблизно 15,3 мкм, що узгоджується з вибором датчика М330 з роздільною здатністю 5 мкм.

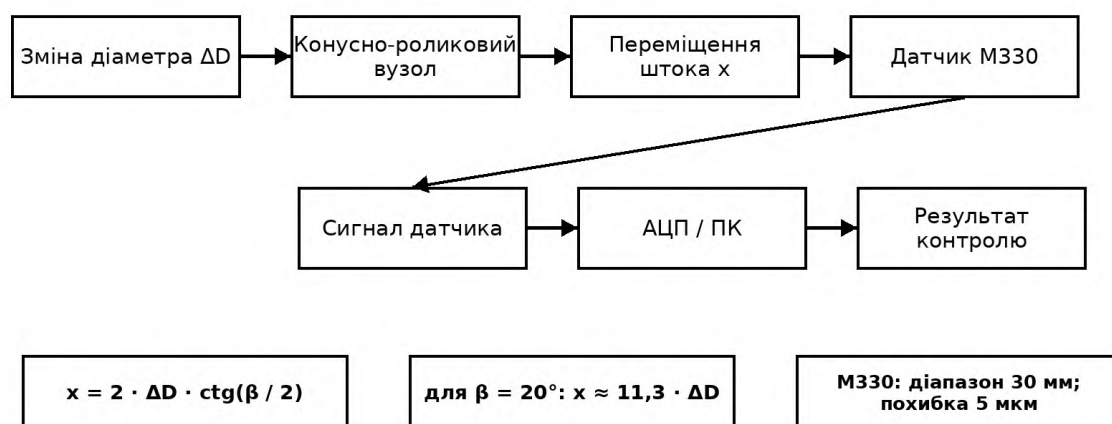


Рисунок 3.6 – Математична модель вимірювального каналу

Передаточна функція приладу для вимірювання різниці діаметрів має вигляд:

$$x = 2 \cdot \Delta D \cdot \text{ctg}(\beta / 2),$$

де x – переміщення вимірювального штока датчика; ΔD – зміна діаметра контрольованої поверхні; β – кут розхилу прижимного конуса.

Для прийнятого кута $\beta = 20^\circ$ ця залежність набуває вигляду $x \approx 11,3 \cdot \Delta D$.

Перевірка працездатності моделі у САПР

Після формування складальної одиниці виконується перевірка працездатності моделі. Вона полягає у контролі геометричних зв'язків, відсутності перетину деталей під час руху, достатності ходу пневмоциліндра, правильності встановлення датчика та відповідності моделі розрахунковим параметрам.

Для цього у САПР задаються граничні положення рухомого вузла: початкове положення, положення контакту з деталлю та максимальне робоче переміщення.

Таблиця 3.3 – Перевірка працездатності САПР-моделі

Параметр перевірки	Критерій	Результат
Відсутність заклинювання конуса	$\beta = 20^\circ > 2 \arctg(0,08)$	Умова виконується
Діапазон датчика	Переміщення штока не перевищує 30 мм	Запас за ходом достатній
Чутливість вимірювання	$x \approx 11,3 \cdot \Delta D$	Забезпечується механічне збільшення сигналу
Пневмоциліндр	Розрахункове зусилля 121,6 Н; прийнятий $D = 30$ мм	Забезпечує подачу вузла
Пружини притиску	Параметри прийняті за розрахунком	Забезпечують стабільний контакт
Відсутність зіткнень	Перевірка у складальній моделі	Критичних перетинів не допускається
Технологічність	Деталі мають прості поверхні обертання та площинні бази	Можливе виготовлення стандартними методами

САПР-моделювання пружин та пневмоциліндра

Пружини у моделі виконують не лише конструктивну, а й функціональну роль, оскільки вони забезпечують стабільне притискне зусилля контактних елементів до контрольованої поверхні.

У САПР пружини доцільно будувати як спіральні елементи з круглим перерізом дроту.

Для спрощення складальної моделі допускається застосування умовного зображення пружини, однак її основні геометричні параметри повинні відповідати розрахунковим значенням.

Таблиця 3.4 – Параметри пружин для використання у САПР-моделі

Елемент	Робоче зусилля	Діаметр дроту	Діаметр навивки	Кількість витків
Прижимна пружина нижнього конуса	15,3 Н	0,6 мм	6 мм	11
Прижимна пружина верхнього конуса	30,6 Н	0,9 мм	22 мм	9
Пружина пневмоциліндра	50 Н	1,7 мм	26 мм	29

Пневмоциліндр у складальній моделі розміщується таким чином, щоб його шток передавав зусилля на рухомий вимірювальний вузол без перекосу.

За розрахунком мінімальне зусилля, яке повинен забезпечити пневмоциліндр, становить 121,6 Н.

За цим значенням прийнято робочий діаметр пневмоциліндра 30 мм. Під час моделювання необхідно перевірити, щоб робочий хід штока був достатнім для підведення вимірювальної призми до контрольованої поверхні та повернення її у початкове положення.

3.3 Наукові дослідження і математичне моделювання

Оцінки чутливості вимірювальної схеми

Для забезпечення максимальної чутливості приладу і дотримання умови відсутності заклинювання конусів і контактних роликів при виставленні кута розхилу направляючих конусів виходимо з наступних міркувань.

Тертя роликів об поверхню спричиняється паралельною до даної поверхні складовою сили взаємодії роликів з контактною поверхнею F рис. 3.8 :

$$F_H = F \tan \beta$$

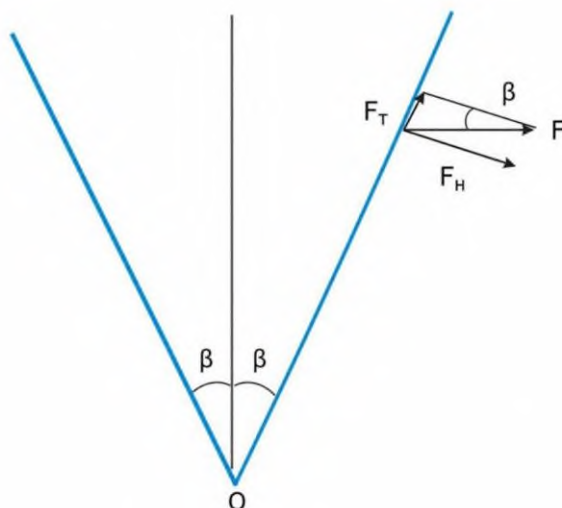


Рисунок 3.7 Розподіл зусилля взаємодії на тертя і контакт з поверхнею

При цьому коефіцієнт тертя

$$k = \frac{F_T}{F} = \frac{F \tan \beta}{F} = \tan \beta$$

Отже, якщо для забезпечення технологічних умов переміщення роликів у вимірюваному пристрої задаємося допустимим значенням коефіцієнта тертя k , то кут розхилу при вершині призми обираємо як

$$\alpha = 2\beta = 2 \operatorname{arctg}(k)$$

Зміну діаметру контрольованого конуса ΔD , що спричиняє переміщення вимірювального вузла на ΔL можемо обчислити як

$$\Delta D = 2\Delta L \tan \beta = 2\Delta L \tan \frac{\alpha}{2}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Як показано на рис.3 передавальна функція вимірювального пристрою в межах кута розхилу $[20^\circ - 35^\circ]$ є лінійною однак з ростом кута чутливість падає.

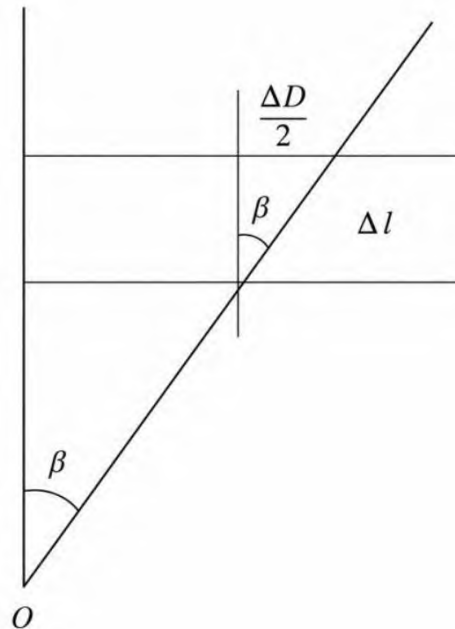


Рисунок 3.8 - До обчислення відхилення контрольованого діаметра за зміною положення вимірювального штока давача

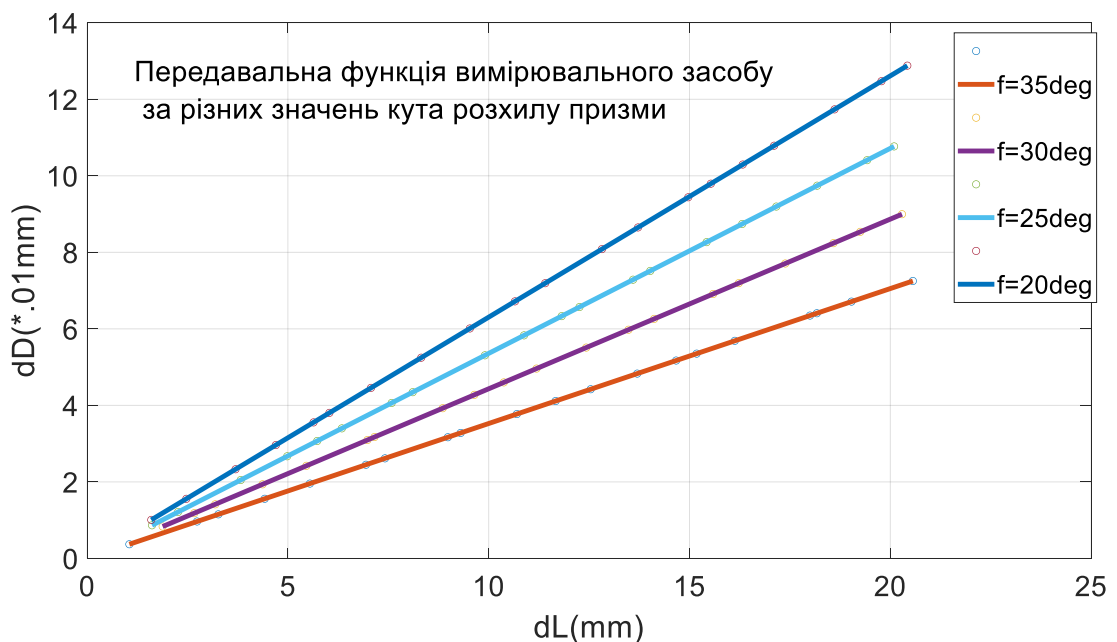


Рисунок 3.9 - Передавальна функція вимірювального пристрою за різних кутів розхилу призми

```

clear all
dL0=[1 :1:20];
%f=20;
for f=20:5:35
for i=1:length(dL0)
dL(i)=dL0(i)+rand(1);
dD(i)=2*dL(i)*tand(f/2);
end
plot(dL,dD,'o',dL,dD)
hold on
end
grid

```

Опрацювання даних вимірювання для відтворення реальної твірної конусної поверхні

Оскільки:

а) вимірювання проводяться в окремих точках досліджуваної поверхні рис. 3.10, верхній графік;

б) значення вертикального переміщення роликів (dL) і горизонтальних відхилень діаметра (dD) вимірюються із деякими похибками, то для відтворення реальної твірної конусної поверхні за даними вимірювань звернемося до їх апроксимаційного опрацювання.

Так оцінку конусності (кута при вершині) вимірюваного зразка можна отримати за лінійною апроксимацією вимірюваної дискретної залежності $dD(dL)$ як показано на рис. 4 (верхній графік, оранжева лінія, тангенс половинного кута при вершині конуса $\tan \frac{\alpha}{2}$ можна обчислити як обернене значення до коефіцієнта при x в лінійному апроксимаційному виразі).

На нижньому графіку рис. 3.10 показано межі відхилень вимірених значень від прийнятої лінійної апроксимації твірної досліджуваної конусної поверхні.

										Арк.
										47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат						

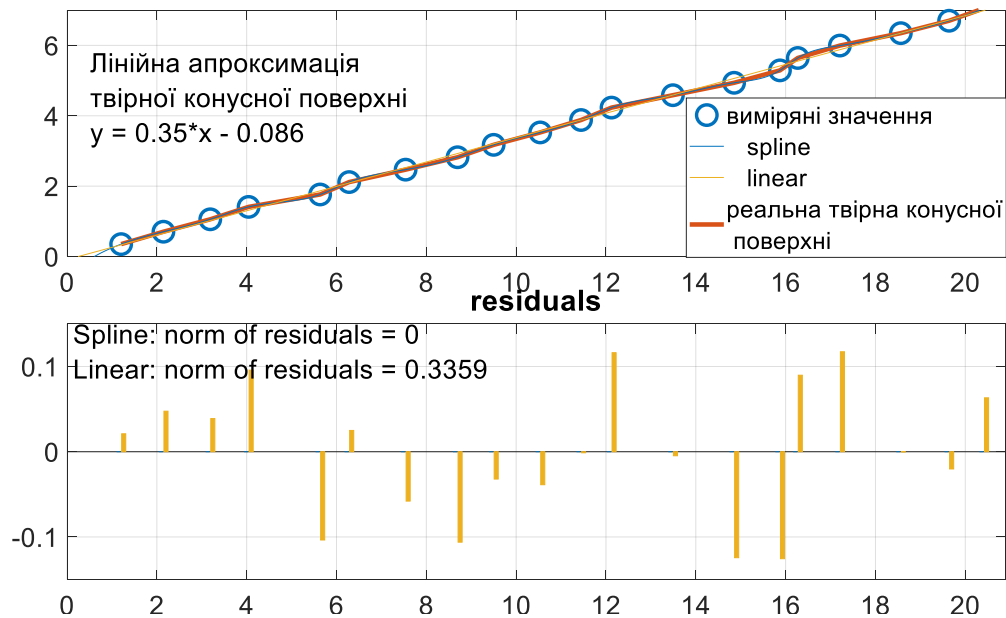


Рисунок 3.10 - Апроксимація реальної твірної конусної поверхні за даними вимірювань

```
clear all
dL0=[1 :1:20];
f=20;
for i=1:length(dL0)
dL(i)=dL0(i)+rand(1);
dD(i)=2*dL0(i)*tand(f/2);
end
plot(dL,dD,'o',dL,dD)
axis([0,20,0,7])
grid
```

Детальний профіль досліджуваної поверхні можна відтворити за сплайновою апроксимацією як показано на рис. 3.10 (верхній графік, червона крива). Спланова апроксимація дозволяє побудувати профіль твірної досліджуваної конусної поверхні у вигляді кривої, що проходить через всі виміряні позиції, а також отримати апроксимовані значення на інтервалах між вимірюваними позиціями.

У результаті виконання САПР-частини було сформовано підхід до побудови комп'ютерної моделі вимірювального приладу на основі розрахункових даних, отриманих у попередніх розділах.

Визначено основні елементи моделі, наведено послідовність її побудови, розглянуто параметричну схему конусно-роликового вузла, описано

математичну модель вимірювального каналу та наведено таблиці параметрів для пружин, датчика і пневмоциліндра.

Застосування САПР дозволяє перевірити працездатність конструкції до виготовлення, зменшити ризик помилок, уточнити взаємне розташування деталей, перевірити робочий хід рухомих елементів та підготувати комплект креслень. Отримана САПР-модель є основою для подальшого виготовлення дослідного зразка приладу, його налагодження та проведення метрологічної перевірки.

На основі аналізу функціонування проектного пристрою виведено робочу формулу для обчислення відхилень діаметру в окремих положеннях вимірювального вузла і розглянуто способи використання результатів вимірювань для отримання характеристик досліджуваних поверхонь таких як показник конусності і реальний профіль твірної.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4 Охорона праці

Пристрій для проведення вимірювань з метою визначення конусності отворів призначений для контролю геометричних параметрів внутрішніх конічних поверхонь деталей. Такі вимірювання виконують у виробничих, ремонтних або лабораторних умовах після свердління, розточування, зенкерування, розгортання та інших операцій механічної обробки.

Під час експлуатації пристрою оператор готує деталь, встановлює її у робоче положення, вводить вимірювальний елемент в отвір, знімає покази та обробляє результати. Хоча контрольно-вимірювальне обладнання не належить до високонебезпечних механізмів, його використання потребує дотримання правил охорони праці, метрологічної дисципліни та вимог до організації робочого місця.

Метою охорони праці під час роботи з пристроєм є створення умов, за яких оператор може безпечно виконувати вимірювання, не допускаючи травмування, пошкодження обладнання або отримання недостовірних результатів. Безпечна експлуатація повинна поєднувати технічну справність вимірювального вузла, правильне встановлення деталі, достатнє освітлення та порядок у робочій зоні.

Під час роботи з пристроєм для визначення конусності отворів на оператора можуть впливати механічні, електричні, санітарно-гігієнічні та психофізіологічні фактори.

Найпоширенішою механічною небезпекою є наявність гострих крайок, задирок і металевої стружки на деталях після обробки. Необережне торкання таких поверхонь може спричинити порізи, подряпини або проколи шкіри.

Небезпеку становить також забруднення робочої зони мастильно-охолоджувальною рідиною, мастилом або дрібною стружкою. Це може погіршувати фіксацію деталі, спричиняти ковзання рук і впливати на точність вимірювання. Перед контролем отвір та прилеглі поверхні необхідно очистити, протерти й оглянути.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		50

Якщо пристрій має електронний індикатор, датчик переміщення, цифровий дисплей або блок живлення, виникає ризик ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, неправильного підключення чи потрапляння рідини на електричні елементи. Додатково на оператора впливають недостатнє освітлення, шум виробничого приміщення, незручна робоча поза та тривале напруження зору.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком вимірювань оператор повинен підготувати робоче місце, перевірити справність пристрою та переконатися, що деталь придатна до безпечного контролю. Робочий стіл має бути чистим, рівним і стійким. На ньому не повинно бути зайвих предметів, які заважають встановленню пристрою або можуть призвести до падіння деталі.

Необхідно перевірити справність вимірювального наконечника, штока, напрямних, індикатора або електронного блока. Не допускається використання пристрою з механічними пошкодженнями, люфтом вимірювального елемента, несправним дисплеєм, пошкодженими кабелями чи ненадійними роз'ємами.

Деталь перед вимірюванням очищають від стружки, пилу, мастила та залишків охолоджувальної рідини.

Забороняється прибирати стружку голими руками; для цього потрібно застосовувати щітку, гачок або інший допоміжний інструмент. Вимірювання дозволяється виконувати лише після повної зупинки верстата та безпечного розміщення деталі у зоні контролю.

Вимоги безпеки під час виконання вимірювань

Під час вимірювань оператор повинен стежити за положенням пристрою відносно осі отвору. Неправильне встановлення може спричинити похибку вимірювання, заклинювання вимірювального елемента або пошкодження поверхні деталі. Особливо обережно слід працювати з отворами малого діаметра та тонкими вимірювальними наконечниками.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		51

Забороняється прикладати надмірне зусилля до вимірювального елемента, різко вводити або виймати його з отвору, торкатися гострих крайок незахищеними руками, а також проводити вимірювання при недостатньому освітленні. Якщо пристрій працює від електроживлення, не можна залишати його увімкненим без нагляду або використовувати за наявності запаху горілої ізоляції, іскріння чи нагрівання кабелів.

Для отримання достовірних результатів необхідно забезпечити стабільне положення деталі та відсутність вібрацій. У разі виявлення несправності роботу потрібно припинити, вимкнути живлення, повідомити відповідальну особу та не відновлювати роботу до усунення причини.

Вимоги до робочого місця та умов праці

Робоче місце оператора повинно бути організоване з урахуванням зручності, безпеки та точності вимірювань. Пристрій необхідно розташовувати на висоті, яка дозволяє працювати без надмірного нахилу корпусу. Індикатор або дисплей має перебувати у зоні прямої видимості, а деталь повинна бути доступною для встановлення без зайвих рухів.

Важливе значення має освітлення робочої зони. Світло повинно рівномірно освітлювати деталь, шкалу індикатора або дисплей, не створювати різких тіней і відблисків на металевій поверхні. Для точних вимірювань доцільно використовувати комбіноване освітлення: загальне освітлення приміщення та місцевий світильник у зоні контролю.

Параметри мікроклімату також впливають на працездатність оператора. Надмірна температура, протяги, підвищена вологість або недостатня вентиляція можуть спричинити втому, зниження уважності й погіршення координації рухів. Для зниження втоми потрібно підтримувати порядок на робочому місці, робити короткі перерви та не працювати у вимушеній позі.

Електробезпека та пожежна безпека

У разі наявності електронних компонентів пристрій повинен живитися від справного джерела, яке відповідає його технічним характеристикам. Перед роботою потрібно перевірити цілісність кабелів, роз'ємів і корпусу блока

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		52

живлення. Забороняється працювати з пристроєм мокрими руками, використовувати пошкоджені кабелі, саморобні блоки живлення або підключати обладнання до несправних розеток.

Для запобігання пожежі не можна залишати увімкнений пристрій без нагляду, розміщувати біля нього промаслене ганчір'я, папір, легкозаймисті рідини та інші горючі матеріали. У разі появи диму, запаху горілої ізоляції або іскріння слід негайно вимкнути живлення та повідомити відповідальну особу. Відновлення роботи допускається тільки після перевірки справності пристрою.

У цьому розділі було розглянуто основні вимоги охорони праці під час роботи з пристроєм для проведення вимірювань з метою визначення конусності отворів. Встановлено, що основними небезпечними факторами є гострі крайки деталей, металева стружка, забруднення мастилом, недостатнє освітлення, незручна робоча поза, можливі електричні несправності та пожежна безпека.

Дотримання правил безпеки, правильна підготовка деталі, справність вимірювального пристрою, належне освітлення та зручна організація робочого місця дозволяють знизити ризик травмування оператора і підвищити точність вимірювань. Безпечна експлуатація пристрою повинна поєднувати вимоги охорони праці, метрологічного забезпечення та технічної документації.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		53

ВИСНОВОК

У комплексній роботі бакалавра було розглянуто питання розроблення пристрою для проведення вимірювань з метою визначення конусності отворів. Дана тема є актуальною для машинобудування, оскільки точність виготовлення внутрішніх конічних поверхонь безпосередньо впливає на якість складання деталей, надійність з'єднань та довговічність роботи механізмів.

У першому розділі було проаналізовано основні методи контролю внутрішніх поверхонь і конічних отворів. Розглянуто контактні та безконтактні способи вимірювання, їх переваги й недоліки. Встановлено, що для виробничих і ремонтних умов доцільним є використання спеціального вимірювального пристрою, який забезпечує достатню точність, простоту конструкції та зручність експлуатації.

У конструкторсько-технологічній частині було розглянуто функціональну схему приладу та принцип його роботи. Запропонований пристрій забезпечує базування контрольованої деталі, контакт вимірювальних елементів із внутрішньою поверхнею отвору та передачу переміщення на вимірювальний датчик. Це дозволяє визначати різницю діаметрів у заданих перерізах і на основі цього оцінювати конусність отвору.

У розрахунковій частині було виконано розрахунок основних елементів пристрою. Визначено кут розхилу направляючих конусів, який забезпечує відсутність заклинювання та достатню чутливість вимірювального механізму. Також було підібрано вимірювальний датчик, розраховано параметри прижимних пружин, пружини пневмоциліндра та подаючого пневмоциліндра.

Окрему увагу було приділено розрахунку похибки вимірювання приладу. Враховано вплив точності виготовлення контактних елементів, похибки встановлення базової довжини та похибки показів датчика лінійного переміщення. Проведені розрахунки підтвердили можливість використання запропонованого пристрою для контролю конусності отворів із необхідною точністю.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		54

Таким чином, у результаті виконання дипломної роботи було обґрунтовано конструкцію пристрою для визначення конусності отворів, підібрано його основні елементи та виконано необхідні розрахунки.

Запропонований пристрій може бути використаний для оперативного контролю внутрішніх конічних поверхонь у виробничих, лабораторних і ремонтних умовах.

Його застосування дозволяє підвищити точність контролю, зменшити вплив людського фактора та покращити якість виготовлення деталей.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		55

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 № 1314-VII.
2. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII.
3. Кодекс законів про працю України від 10.12.1971 № 322-VIII.
4. ДСТУ EN ISO 3040:2018. Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Конуси. Розміри та допуски.
5. ДСТУ EN ISO 1101:2018. Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Визначення геометричних допусків. Допуски форми, орієнтації, розташування та биття.
6. ДСТУ EN ISO 5459:2018. Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Геометричні допуски. Бази та системи баз.
7. ДСТУ EN ISO 8015:2018. Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Основні принципи.
8. ДСТУ ISO 286-1:2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок.
9. ДСТУ ISO 286-2:2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів.
10. ДСТУ EN ISO 10012:2022. Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання.
11. ДСТУ ГОСТ 8.051:2009. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Похибки, допустимі під час вимірювання лінійних розмірів до 500 мм.
12. ДСТУ EN ISO 13385-1:2018. Технічні вимоги до геометричних параметрів продукції (GPS). Прилади для лінійних та кутових вимірювань. Частина 1. Штангенциркулі.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		56

13. Саранча Г. А. Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю : підручник. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 672 с.
14. Тарасова В. В., Малиновський А. С., Рибак М. Ф. Метрологія, стандартизація і сертифікація : підручник. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 264 с.
15. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.
16. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
17. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
18. Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417.
19. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : Афіша, 2005. 320 с.
20. Технологія машинобудування : підручник / за заг. ред. М. Ф. Дмитриченка. Київ : Либідь, 2010.

					КБР 036.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		57

