

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Пристрій для вимірювання відхилень форми циліндричних
поверхонь

Виконав: студент 4 курсу, групи РВ-41

спеціальності 152 "Метрологія та інформаційно

вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Юрик Ю.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Дубиняк Т.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Наконечний Ю.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Паламар М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Дедів Л.Є.
(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 Юрик Юрій Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Пристрій для вимірювання відхилень форми циліндричних поверхонь

Керівник роботи Дубиняк Тарас Степанович, к.т.н., доцент кафедри ПВ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 26 » 05 2026 року № 4/9-248

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20.06.2026

3. Вихідні дані до роботи авторське свідоцтво №761824

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) 12
слайдів для кваліфікаційної роботи бакалавра

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна випускна робота бакалавра присвячена розробленню пристрою для вимірювання відхилень від форми циліндричних поверхонь деталей машин. У роботі розглянуто питання контролю геометричної точності циліндричних поверхонь, зокрема визначення некруглості, нециліндричності та відхилень профілю поздовжнього перерізу. Запропоновано конструкцію вимірювального пристрій, що забезпечує переміщення вимірювального датчика вздовж поверхні деталі та її поворот під час вимірювання.

У процесі виконання здійснено проектування механічної частини приладу, виконано підбір електродвигуна для переміщення каретки вимірювальної системи, а також підбрано пневмоциліндри для затиску контрольованої деталі та забезпечення її повороту на заданий кут. Проведено аналіз конструктивних рішень, обґрунтовано вибір основних елементів приводу та пневматичної системи.

Розроблений прилад може бути використаний у машинобудуванні та приладобудуванні для контролю точності виготовлення циліндричних деталей, підвищення якості продукції та автоматизації процесів вимірювання.

Приладобудування є галуззю машинобудування, що займається створенням засобів вимірювання, аналізу, обробки та представлення інформації, пристроїв регулювання, автоматичних і автоматизованих систем управління. Також приладобудування є галуззю науки і техніки, спрямованою на розроблення засобів автоматизації .

ЗМІСТ

1	Загально-технічний розділ	7
1.1	Аналіз наукових досліджень у галузі вимірювання форми циліндричних поверхонь	7
1.2	Літературно-патентний огляд.....	8
1.3	Вибір аналога приладу для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь	15
2	КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	23
2.1.	Опис принципу роботи та кінематичної схеми приладу для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь.....	23
2.2	Конструкторські розрахунки окремих вузлів та механізмів приладу для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь	25
2.3	Конструкційний та технологічний аналіз деталі "Тримач"	31
3	Спеціальна частина.....	55
3.1	Розробка функціональної схеми.....	55
3.2	Розробка та розрахунок схеми і включення індуктивного датчика ..	57
3.3	Огляд методів контролю відхилення від форми циліндричних поверхонь	58
3.4.	Приклади традиційних приладів для контролю циліндричних поверхонь	60
3.5.	Приклади сучасних автоматизованих систем.....	60
3.6	Розробка функціональної схеми автоматизованого вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь	61
3.6	Розробка та розрахунок схеми і включення давачів	65
3.7	Розробка схеми включення давачів кінцевого положення.....	67
3.8	Наукові дослідження та математичне моделювання	69
4	Охорона праці.....	77
	Висновки.....	80
	Перелік посилань	81
	Додатки	

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		5

ВСТУП

Приладобудування є важливою галуззю машинобудування, яка займається розробленням і виробництвом засобів вимірювання, аналізу, обробки та представлення інформації, пристроїв регулювання, а також автоматичних і автоматизованих систем управління. Одночасно приладобудування є галуззю науки і техніки, що спрямована на створення засобів автоматизації, систем контролю та керування технологічними процесами і виробництвом.

Важливе місце у приладобудуванні за кількістю та різноманітністю пристроїв займають засоби вимірювальної техніки. На сьогодні розроблено значну кількість методів і приладів для вимірювання механічних, електричних, магнітних, теплових, оптичних, радіаційних та інших фізичних величин. Вимірювальні прилади у поєднанні з регулюючими, обчислювальними та виконавчими пристроями утворюють технічну основу автоматизованих систем управління технологічними процесами.

Одним із важливих напрямів сучасного приладобудування є розроблення контрольно-вимірювальних приладів, призначених для контролю точності виготовлення деталей машин, підвищення якості продукції та автоматизації процесів контролю. Особливо актуальним є контроль геометричних параметрів деталей, зокрема відхилень від форми циліндричних поверхонь, таких як некруглість, нециліндричність та відхилення профілю поздовжнього перерізу.

Метою даної роботи є автоматизація вимірювального пристрою та підвищення точності вимірювання відхилень від форми циліндричних поверхонь шляхом удосконалення конструкції пристрій, використання індуктивного датчика та застосування електромеханічного і пневматичного приводів.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1 Загально-технічний розділ

1.1 Аналіз наукових досліджень у галузі вимірювання форми циліндричних поверхонь

Проблема визначення відхилень форми циліндричних поверхонь від їх ідеальної геометричної форми є однією з ключових у сучасному машинобудуванні та метрології. Вона безпосередньо пов'язана із забезпеченням точності, надійності та довговічності деталей машин, зокрема валів, підшипників і шпиндельних вузлів.

Значний внесок у розвиток методів вимірювання круглості та циліндричності зробили зарубіжні вчені. Зокрема, у працях Bala Muralikrishnan досліджено трипробний метод вимірювання круглості, який дозволяє відокремлювати похибки обертання шпинделя від похибок форми деталі [1]. Подальший розвиток цього підходу представлено в роботах Ozono та Kakino, де розглянуто вдосконалені алгоритми обробки результатів вимірювань і підвищення їх точності [2].

Методи багатоточкового вимірювання були розвинені у працях Nyberg та Katsuyuki, які запропонували відповідно чотириточкові та п'ятиточкові схеми вимірювання, що дозволяють підвищити точність визначення відхилень форми за рахунок зменшення впливу систематичних похибок [3]. Сучасні дослідження спрямовані на впровадження високоточних сенсорних технологій. Так, у роботах Ma Yu-zhen та Bin Duan запропоновано використання ємнісних датчиків та однопробних методів сканування для оцінювання круглості з високою роздільною здатністю [4]. Використання лазерних технологій у вимірюваннях досліджено Jie Liang, що дозволяє отримувати детальні профілі поверхонь у вигляді хмар точок [5].

Вагомий внесок у розвиток теоретичних основ оцінювання відхилень форми зроблено у працях Lei, де розглянуто застосування методу найменших

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

квадратів для апроксимації профілю поверхні та визначення параметрів відхилення [6].

Поряд із зарубіжними дослідженнями, значний внесок у розвиток даної галузі зробили українські науковці. Зокрема, у роботах Володимир Дзюра, Петро Кривий, Надія Тимошенко та Юрій Апостол розглянуто питання оцінювання параметрів шорсткості та якості циліндричних поверхонь, що є важливим етапом комплексного контролю геометричної точності [7].

Фундаментальні основи метрологічного забезпечення вимірювань розроблено Леонід Назаренко, праці якого присвячені підвищенню точності вимірювальних систем та забезпеченню єдності вимірювань [8].

Питання оцінювання похибок і невизначеності результатів вимірювань розглянуто у працях Андрій Коваль, Олександр Коваль та Яна Медведовська [9].

У галузі математичного моделювання геометрії поверхонь слід відзначити роботи Олександр Бідніченко, в яких запропоновано підходи до опису складних поверхонь і методи їх апроксимації, що використовуються при обробці результатів вимірювань [10].

Таким чином, аналіз наукових досліджень показує, що розвиток методів вимірювання форми циліндричних поверхонь відбувається у напрямі підвищення точності, автоматизації процесів вимірювання та вдосконалення математичних методів обробки результатів.

Незважаючи на значні досягнення, актуальним залишається завдання зменшення впливу похибок вимірювань та підвищення достовірності оцінювання відхилень форми.

1.2 Літературно-патентний огляд

Пристрій для вимірювання форми циліндричних деталей призначений для визначення відхилень форми циліндричних поверхонь від їх ідеальної геометричної форми. Такі вимірювання є важливими під час контролю точності виготовлення деталей машин, оскільки відхилення форми можуть суттєво

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		8

впливати на працездатність, зносостійкість, точність посадок і довговічність механізмів.

Елементарні відхилення форми характеризуються відхиленнями профілю як у поперечному, так і в поздовжньому перерізах циліндричних деталей. Геометрично ці відхилення можна звести до ряду елементарних фігур, таких як еліпс, правильний багатокутник, поверхня з прямолінійними утворюючими, симетрично опукла поверхня, симетрично вгнута поверхня, а також поверхня зігнутої форми. Така геометрична інтерпретація дозволяє спростити аналіз відхилень форми та застосовувати математичні методи для їх оцінювання.

Зазначеним видам відхилень форми у стандартах залишено традиційні назви, які використовуються в машинобудуванні та метрології. Зокрема, у поперечному перерізі циліндричної деталі розрізняють овальність та огранку, а у поздовжньому перерізі – конусоподібність, бочкоподібність, сідлоподібність і вигнутість.

Елементарні відхилення форми визначаються відповідними числовими параметрами, значення яких обчислюють за аналітичними залежностями.

Таким чином, контроль відхилень форми циліндричних поверхонь є важливим етапом технічного контролю в машинобудуванні, а використання спеціальних вимірювальних приладів дозволяє забезпечити необхідну точність вимірювань і підвищити якість виготовлення деталей.

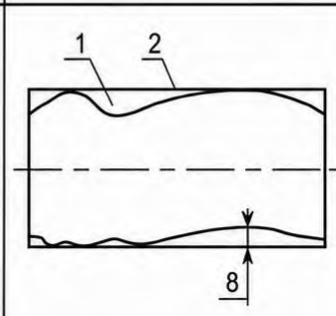
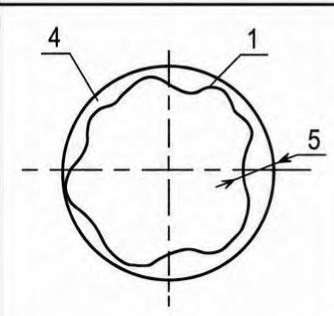
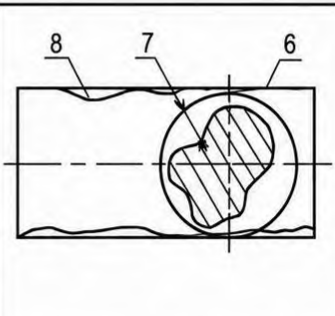
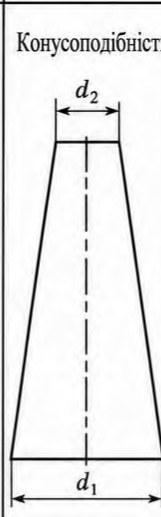
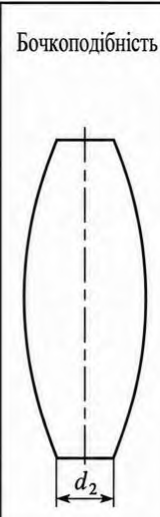
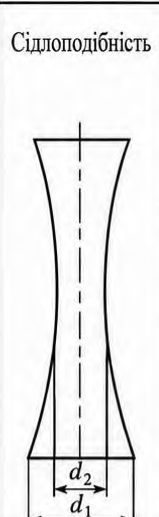
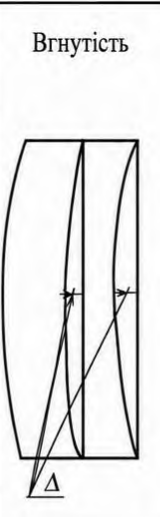
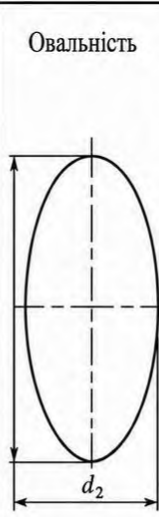
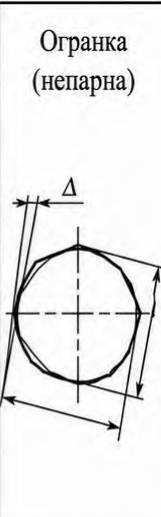
Допуски розмірів, форм і розташування поверхонь в залежності від квалітетів допусків розмірів і рівнів геометричної точності регламентуються ДСТ 25346. Технологічні похибки є причинами виникнення перерахованих елементарних відхилень форми. Деталі будуть мати яке-небудь з елементарних відхилень форми тільки в тому випадку, коли відповідна причина має домінуючий вплив під час обробки деталі. В більшості випадків форма деталі визначається пружністю технологічних похибок, серед яких немає домінуючих. Тому відхилення форми в більшості випадків носить невизначений характер і характеризуються тільки відхиленням.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Внаслідок цього виникає необхідність в комплексних відхиленнях форми, які визначаються тільки значення відхилення.

По ДСТУ 1036:2019, передбачено три комплексних відхилень форми: відхилення від циліндричності, відхилення від круглості і відхилення профілю повздожнього січення.

Таблиця 1.1 – Класифікація відхилень форми циліндричних поверхонь, які нормуються ДСТ 25346

Відхилення форми	Відхилення профілю повздожнього січення		Відхилення від круглості	Відхилення від циліндричності		
Комплексні						
Елемент-тарні	Конусоподібність	Бочкоподібність	Сідлоподібність	Вгнутість	Овальність	Огранка (непарна)
						
	$\Delta = \alpha_1 - \alpha_2$ $\varepsilon\varphi \cdot \Delta_{ор} \cdot \beta\gamma$	$\Delta = \alpha_1 - \alpha_2$	$\Delta = \alpha_1 - \alpha_2$	Δ	$\Delta = \alpha_1 - \alpha_2$	$\Delta = D - L$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Відхилення від циліндричності-це комплексний показник для циліндричної поверхні в цілому, який визначається сукупністю відхилень форми дійсної поверхні від форми правильного циліндра.

За величину не циліндричності приймають найбільше відхилення дійсної циліндричної поверхні від прилягаючого правильного циліндра, який має (для вала) найменший можливий діаметр і вписаний в дійсну поверхню отвору.

Відхилення від круглості - це комплексний показник для поперечного січення циліндра, який визначається сукупністю відхилень форми дійсного січення від форми правильного круга.

За величину некруглості приймають найбільше відхилення дійсного профілю від прилягаючого правильного круга, який має (для вала) найменший можливий діаметр і описаний навколо дійсного січення вала; який має (для отвору) найбільший можливий діаметр і вписаний в дійсне січення отвору.

Відхилення профілю повздовжнього січення – це комплексний показник для повздовжнього січення циліндра, який визначається сукупністю відхилень форми цілісного січення від форми, що утворена двома паралельними прямими.

За величину відхилення профілю повздовжнього січення приймають найбільше відхилення дійсного профілю від прилягаючих паралельних прямих, максимально збільшених між собою (для вала), і максимально віддалених одна від одної (для отвору).

По ДСТУ 103-76 встановлено десять степенів точності для нормування відхилень форми циліндричних поверхонь.

Величини, які є в стандарті, можуть бути безпосередньо використані в якості граничних значень, не циліндричності, некруглості, відхилення профілю повздовжнього січення, огранки і вгнутості, тобто таких відхилень форми, які визначаються при раціональних вимірах, як різниця радіусів.

Для отримання граничних значень овальності, конусоподібності, бочко подібності і сідлоподібності тобто таких відхилень, як різниці діаметрів.

Вказані в стандарті величини повинні подвоюватися з наступними заокругленнями до найближчого числа.

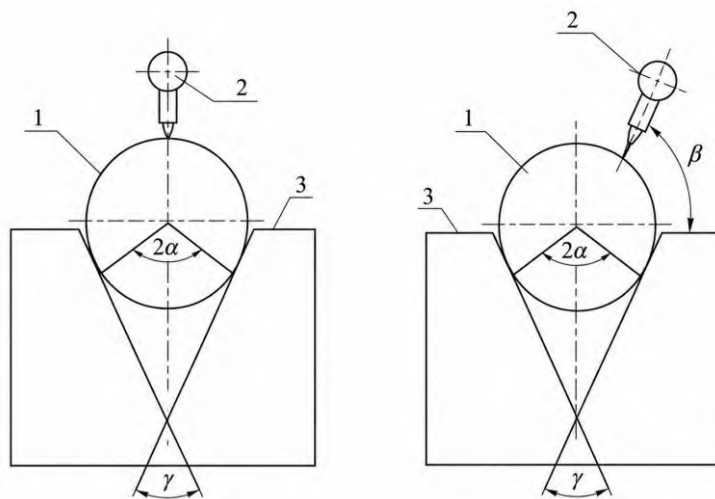
					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		11

Радіальні (радіусні) виміри є універсальними. З їх допомогою можна визначити всі без винятків нормовані відхилення форми.

Діаметричні методи виміру відхилення форми були стандартизовані, тому що вони є доступними і широко розповсюдженими в промисловості. Діаметричні методи виміру відхилень форми можуть бути використані як з допомогою універсальних вимірювальних засобів, так і на спеціально конструйованих пристроях.

В промисловості використовується метод виміру огранки в призмах (трьох контактний метод виміру).

З допомогою трьох контактного методу виміру (два контакти упорні, а третій контакт з вимірюванням наконечника показуючого приладу) вимірюють огранку з непарним числом граней n ($n=3,5,7,9$ і т.д.), яка не може бути виявлена при діаметричних вимірюваннях. Трьох контактний метод вимірювання можна також рахувати і методом вимірювання хвилястості, оскільки невизначено, при якому числу гранів нерівності будуть називатися огранкою, а при якому хвилястою (ця границя не має принципового значення, і носить умовний характер)



1 - деталь; 2 – вимірювальний прилад; 3 – призма.

Рисунок 1.1 – Схема вимірювання огранки в призмах при симетричному (а) і несиметричному (б) положенні вимірюваного наконечника

Різниця показів вимірюваного приладу S при крученні деталі та опорних контактах зв'язана з огранкою Δ_{or} залежністю:

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		12

$$S = K_{or} \Delta_{or} \quad (1.1)$$

де K_{or} - коефіцієнт відтворення огранки.

Коефіцієнт залежить від кутів, які характеризують взаємне розміщення наконечників трьох контактних приладів. Для симетричних приладів вимірювальний наконечник знаходиться по бісектрисі кута між опорними контактами.

Такі пристрої рекомендуються при вимірах огранок з різним числом граней, причому три призми вибирають таким, щоб коефіцієнт відтворення огранки K_{or} був рівний для зручності розрахунку одиниці, чи в крайньому випадку цілому числу.

В таблиці 1.2 показані коефіцієнти відтворення огранки симетричних трьохтактних приладів з різними кутами γ .

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти відтворення огранки в залежності від кута γ

Число границь n	Кут призми γ	Коефіцієнти відтворення огранки
3	60°	3
	120°	1
5	120° і 90°	2
	72°	1
7	120°	2
	103°	1
9	60°	3
	120°	1

Якщо завчасно невідомо число гранів n, доцільно користуватися такими елементарними трьох контактними пристроями, при вимірюванні в яких коефіцієнти K_{or} однакові для всіх можливих в даній партії деталей співвідношення n.

В таблиці 1.3 подані співвідношення величини n , в тому числі і деяких парних їх значень, для яких коефіцієнти відтворення однакові як для окремих величин, що входять в дане співвідношення, так і для їх сум.

Найбільшою універсальністю володіють несиметричні трьох контактні пристрої з параметрами $\beta=120^\circ$, $\gamma=30^\circ$, $\beta=60^\circ$.

Таблиця 1.3 – Коефіцієнти відтворення огранки в залежності від співвідношення числа граней

Співвідношення числа граней n	Кути призми	Коефіцієнт відтворення для всіх n , що входять в дане співвідношення
2;5;9	130°	~1,7
5;7	120°	2
3;9		1
2;3;7;8	108°	~1,4
3;5	90°	2
3;9	60°	3
7;9	45°	2

В обох схемах лінії вимірювання паралельні одній із граней призми. Ці схеми дають однакові значення коефіцієнта відтворення K_{or} для перших і найбільш часто розповсюджуваними огранками з $n=3;5;7;9$.

1.3 Вибір аналога приладу для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь

Найбільш точними приладами для вимірювання відхилень форми є кругломір. Якщо площини виміру відхилень від круглості не задані, то їхня кількість і розташування визначається відповідно до табл. 1.2

Кількість площин вимірювання може бути збільшене або зменшене в порівнянні із зазначеним у табл. 1.2 за умови, якщо цього досить для виявлення найбільшого відхилення від круглості. За відхилення від круглості для поверхні приймається найбільша з величин, вимірених у різних перерізах.

При вимірюванні відхилень від круглості, включаючи хвилястість на приладах, що мають електричні частотні фільтри, верхню границю пропуску фільтра рекомендується вибирати відповідно до таблиці, але не менш 50 коливань за оберт.

Якщо технічними вимогами пропонується вимір відхилення від круглості без врахування хвилястості, то для всіх діаметрів деталей варто користуватися фільтром низьких частот із граничним числом коливань 15 1/об. Для вимірів тільки хвилястості варто користуватися смуговим фільтром з нижньою границею пропуску 15 1/об. і верхньою границею.

Оцінка відхилень від круглості за результатами вимірів виробляється одним з наступних способів:

безпосередньо за показниками відлікового пристрою визначається

алгебраїчна різниця між найбільшим і найменшим показами, що у деяких методах вимірювання перераховується з урахуванням поправочного коефіцієнта.

Цей спосіб припускає попереднє виключення впливу ексцентриситету перерізу, що перевіряється;

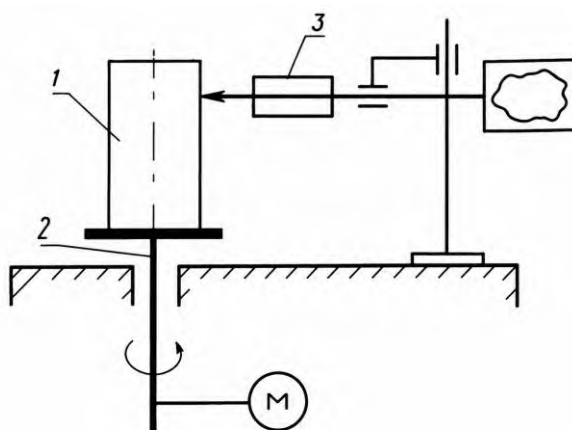
ручною обробкою профілограми перерізу, записаної переважно в полярних координатах. Для знаходження базової окружності, від якої відраховують відхилення від круглості, застосовують прозорий шаблон з концентричними окружностями або циркуль, як база застосовують, в основному, прилягаючу

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		15

окружність (найменшу описану для вала або найбільшу вписану для отвору) або середню окружність; за допомогою ЕОМ, що перераховують вимірювані значення на відхилення від круглості відносно середньої, або прилягаючої окружності.

Вимір із застосуванням прецизійного обертання (метод 2.3-1/ММС)

При вимірі реальний профіль рівняється із траєкторією точного обертання шпинделя приладу (кругломіра).



1 - вимірювана деталь; 2 - точний шпиндель; 3 - вимірювальний перетворювач.

Рисунок 1.3 – Пристрій для контролю

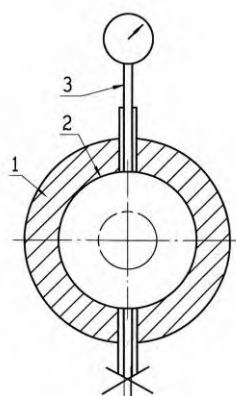
Розрізняють кругломіри з обертним вимірювальним перетворювачем при нерухомому столі й деталі й з обертним предметним столом при нерухомому перетворювачі. Перед виміром деталь центрують і нівелюють щодо осі шпинделя приладу. Вимірюється зміна радіусів профілю відносно осі обертання за один оберт. Обмірюваний профіль реєструється на полярній діаграмі. Можливе застосування ЕОМ для автоматичного визначення базової окружності (середньої або прилягаючої) і відхилення від круглості. Даний метод виміру є найбільш точним і дозволяє вимірювати відхилення від круглості відповідно до його стандартного визначення.

Відстань між площинами виміру приймається рівним l/N , а відстань від краю до першої площини виміру – $l/2N$. Вимірювання із застосуванням зразка

круглості (метод 2.3-2/ММС) Вимірювана деталь сполучається зі зразкової за формою деталлю (кільцем або пробкою), що в обмеженому діапазоні, діаметрів матеріалізує прилягаючу окружність.

Таблиця 1.4 – Рекомендує кількість площин вимірювання відхилень від круглості (по ММС)

Довжина вимірювальної циліндричної поверхні l , мм	Співвідношення довжин і діаметра l/d	Кількість площин вимірювання N
До 50	До 1	1
	від 1 .. 3	2
	більше 3	3
Від 50 до 200	До 1	2
	від 1 .. 3	3
	більше 3	4
Від 200	До 1	3
	від 1 .. 3	4
	більше 3	5



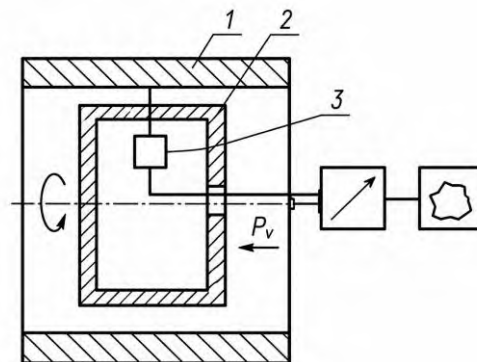
1- вимірювана деталь; 2 - зразок круглості (калібр-кільце); 3 - вимірювальна головка

Рисунок 1.4 – Схема виміру отвору

Вимірювальною головкою, закріпленої нерухомо на зразковій деталі, реєструється максимальна різниця показань за один оберт вимірюваної деталі щодо зразкової. Для більше повної компенсації дійсних відхилень діаметра деталей застосовують зразкові деталі, регульовані по діаметрі, або набір різних по діаметрі зразкових деталей.

Вимірювання із застосуванням аеростатично центрованого опорного елемента (метод 2.3-3/ММС)

Схема виміру отвору показана на рисунку 1.4 Аналогічна схема може бути застосована й для виміру валів. Опорний елемент у вигляді пробки або кільця базується на аеростатичних опорах безпосередньо по вимірюваній поверхні деталі. Внаслідок усередненого ефекту повітряної подушки при взаємному обертанні опорного елемента й деталі вісь обертання практично нерухома й при обмеженій довжині опорного елемента проходить через центр середньої окружності вимірюваного перетину. Вимірювальний перетворювач закріплений в опорному елементі.

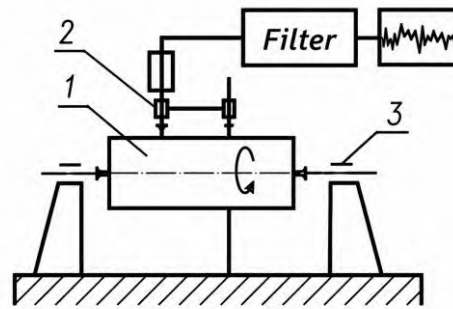


1 - вимірювана деталь; 2 - опорний елемент; 3 - вимірювальний перетворювач

Рисунок 1.5 – Відхилення від круглості щодо опорного елемента

Відхилення від круглості визначається як найбільша різниця показань відлікового приладу за один оберт деталі щодо опорного елемента. При постійній швидкості обертання можлива реєстрація профілю на діаграмі. Вимірювання приладом для виміру радіального биття (метод 2.3-4/ММС).

Вимірювана деталь установлюється в центрах. Деталь повинна обертатися з постійною швидкістю.



1- вимірювана деталь; 2 - вимірювальний перетворювач; 3 – центри.

Рисунок 1.6 – Вимірювання деталей в центрах

Вимірювальним перетворювачем реєструється зміна радіусів деталі у вимірюваному перетині за один оберт. Після електричної фільтрації, що придушує складову, викликану ексцентриситетом перетину щодо осі обертання (у цьому випадку загальної осі центрових отворів), вимірювальний сигнал подається або на прилад, що показує, або на лінійний самопис. Найбільша різниця показань приладу за один оберт деталі визначає відхилення від круглості щодо середньої окружності. В кругломірах використовується метод “зразкового обертання” тобто виконується базування по зразковій циліндричній деталі шпіндель приладу.

Шпіндель обертається з високою точністю, тому його вісь під час обертання постійно залишається в межах уявного циліндра діаметром у декілька сотих міліметра. Знехтувавши такими малими відхиленнями, можна вважати, що вісь обертання шпінделя є просторово нерухомою. У такому випадку траєкторія руху, жорстко зв'язана зі шпінделем вимірювального перетворювача, являє собою коло з дуже високою точністю, яке приймають за зразкове.

Для порівняння профілю деталі з даним зразковим колом перед початком вимірювань необхідно виконати центрування осі деталі відносно осі шпінделя.

Сутність методу «зразкового обертання» пояснюється на рисунку 1.7. Контрольовану деталь 9 встановлюють на стіл 8, який має можливість

переміщення в горизонтальній площині у двох взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою мікрометричних гвинтів 7, що забезпечує попереднє центрування деталі. Над деталлю розміщено шпіндель 13 із закріпленим на ньому вимірювальним перетворювачем 11 зі щупом 6.

Під час обертання перетворювача навколо деталі коливання щупа, спричинені відхиленнями форми та хвилястістю поверхні, передаються на якір 4, який здійснює коливання відносно опори 5. У результаті цих коливань змінюється повітряний зазор між якорем і Ш-подібним осердям 12, на якому розміщено дві котушки 10. Котушка 10 разом із двома половинами первинної обмотки диференціального трансформатора 2 утворює балансувальний міст, який живиться від генератора звукової частоти 1. Обмотка котушки осердя з'єднана зі струмознімними кільцями 14, з яких струм знімається за допомогою струмознімних щіток.

Зміна повітряного зазору між якорем і Ш-подібним осердям призводить до зміни напруги на виході диференціального трансформатора. Зміни напруги обробляються електронним блоком 3, після чого сигнал з його виходу подається на записувальний прилад 15. Обертання шпінделя здійснюється від електродвигуна 19 через привід шпінделя 18, який виконаний у вигляді коробки швидкостей. Синхронно зі шпінделем обертається електротермічний діаграмний диск 17, на якому перо записувального приладу 16 залишає слід. Після одного оберту диска, що відповідає одному оберту деталі, на діаграмі формується круглограма досліджуваного поперечного перерізу.

Кругломіри стандартизовані ДСТУ 17375–2003, на якому кругломіри поділяються на два основних види: з обертаючим перетворювачем з обертаючим столиком.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

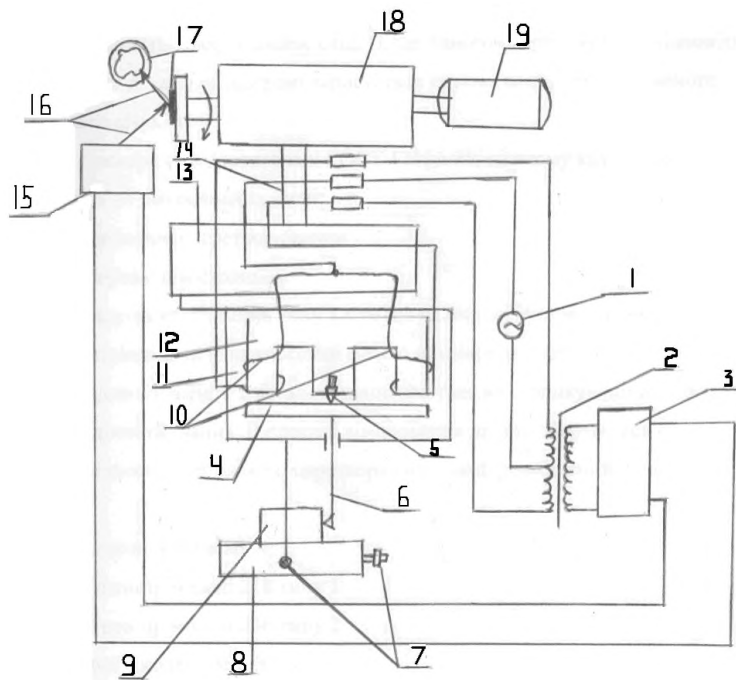


Рисунок 1.7 – Блок-схема кругломіра з обертаючим перетворювачем.

Перевагою кругломірів типу 1 є те що найбільш відповідальний вузол приладу – шпіндель ненавантажений масою вимірюваної деталі.

В кругло міра типу 2 деталі встановлюються на столику – шпінделю і проводять досліджування. В процесі вимірювання деталь обертається разом з столиком відносно нерухомого перетворювача, який розміщений на окремому станку.

Вітчизняні кругломіри: Кругломір моделі 218 типу 1. Кругломір моделі 246 типу 2. Кругломір моделі ВЕ - 37 типу 1. Кругломір моделі 255 заводу “Калібр” типу 1. Кругломір моделі 257 заводу “Калібр” типу 2. Кругломір моделі 206 заводу “Калібр” типу 2. Кругломір моделі 258 заводу “Калібр” типу 2. Кругломір моделі ВЕ заводу “ЭНИМС” типу 1. Промисловими випускається прилад для виміру діаметру вала по бісекрисі кута.

Контроль діаметру здійснюється по діагоналі кута, який утворений плоскими твёрдосплавними опорами 3 і 7 призми. Шарніри 2 і 4 дозволяють призмі самовстановлюватися на контролюючій поверхні незалежно від положення деталі. Третім контактом є ланка 6, яка зміну розміру деталі безпосередньо вимірювальному штоку перетворювача 5.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

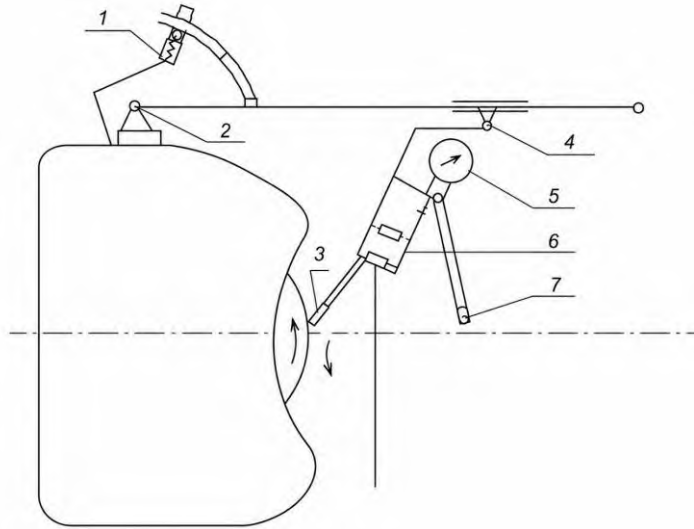


Рисунок 1.8 – Принципова схема приладу для виміру діаметру по бісектрисі кута.

При напрузі деталі вимірювальний пристрій втримується в верхньому положенні фіксатором 1. Деталь вимірювальний пристрій встановлюють на столі станка. Дана схема має недолік, тому чутливість при зміні відхилення від правильної геометрії форми (овальності, огранки) є дуже великою, ніж при зміні діаметру сторони циліндричної деталі.

Наприклад при овальності яка дорівнює половині допуску на діаметр, практично неможливо вести точний контроль діаметру.

Таблиця 1.4 – Порівняльні характеристики приладів

Характеристика	Прилад (Кругомір модель 246)	Прилад що розроблявся в роботі
Похибки приладу, мкм	0,1	1,2
Границі вимірювання, мм	350	250
Об'єкт вимірювання	Циліндричні деталі	Мукомельні валки
Привід	Електромеханічний	Електромеханічний, пневматичний

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

2 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Опис принципу роботи та кінематичної схеми приладу для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь

Згідно авторському свідоцтву №761824 винахід відноситься до вимірювальної техніки, а саме до засобів для контролю відхилення від циліндричної форми номінально круглих деталей (циліндрометром). Цей засіб складний по конструкції, має великі розміри, виміри на ньому дуже трудомісткі, тому що великий час затрачається на позиції вимірювання. Результати вимірів, як правило потребують наступної математичної обробки.

Згідно кінематичної схеми прилад для вимірювання форми циліндричних деталей з основи 1, на якій кріпляться стояки 2 і 3. На стояках закріплені направляючі 6 і ходжовий гвинт 7 по яких пересувається каретка 4. З кареткою з'єднаний балансір 1-го ступеня 10. З балансіром 10 шарнірно зв'язані балансири 2-го ступеня 11, до яких шарнірно кріпляться чотири балансири 3-го ступеня 12. Каретка приводиться в рух двигуном 9 через зубчасту циліндричну передачу 8. В стійках 2 і 3 закріплені центри базування деталі (13-центр поворотний, 14-центр висувний).

Центр поворотний 13 приводиться в рух зубчатою передачею 19. На центрі 13 закріплений поводок 15 який прижимається в шпоночний паз деталі пружиною 16. Поводок підноситься в гору пневциліндром 17. Рейка через шарнірну муфту 21 зв'язана з пневмоциліндром 20, який приводить її в рух. В стояку 3 переміщається центр висувний 14, який зв'язаний через шарнірну муфту 21 з пневмоциліндром 18. До балансира 1-го ступеня 10 кріпиться вимірювач лінійних переміщень 22, який безпосередньо контактує з поверхнею деталі. З другої сторони до балансира 1-го ступеня 10 кріпиться вимірювач лінійних переміщень 23, який контактує з еталоном прямолінійності 24.

Прилад працює слідуєчим чином. Деталь, що контролюється встановлюється в центрах 13 і 14. Положенням каретки 4 вибираємо

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		23

контролююче січення. Потім прокручуємо контрольовану деталь і по вимірювачу лінійних переміщень 22 відмічаємо некругість контрольованого січення. Одночасно по вимірювачу лінійних переміщень 23 відмічаємо радіальне положення за один оберт контрольованої деталі, що дозволяє визначити першу гармоніку (биття) контрольованого січення.

Результат вимірювання буде вільний від впливу похибок форми контролюючого січення. Переміщенням каретки 4 вздовж осі контрольованої деталі, без повороту деталі можна виміряти форму твірної, а коли повертаючи в кожному січенні на один оберт можна визначити форму осі контролюючої деталі. Об'єктом вимірювання для приладу, що розробляється в роботі є мукомельний валок.

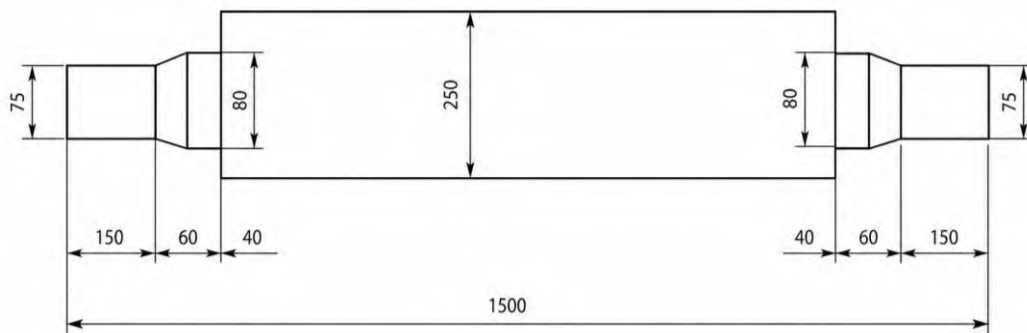






Рисунок 2.1 – Мукомельний валок.

Маса валка $m=400$ кг. Вимоги до валка показані в таблиці 2.1

Таблиця 2.1-Допуски форми і розміщення поверхні для 5 – ступеня точності

	Допуск круглості ϕ 250 мм	8 мк
	Допуск циліндричності ϕ 250 мм	8 мк
	Допуск профілю повздовжнього січення $l=1000$ мм	16 мк
	Допуск биття в заданому напрямі ϕ 250 мм	20 мк

									Арк.
									24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					

КБР 037.00.00.000 ПЗ

В якості вимірювачів лінійних переміщень використовуємо датчик індуктивний АНИТИМ 35 33. Його характеристики показані в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Характеристика датчика індуктивного АНИТИМ 35 33

Характеристика	Параметр
Робочий хід, мм	0,5
Загальний хід, мм	1
Вимірюване зусилля, Н	2
Крутизна перетворення, В/мм	1,5
Несиметрична характеристика %	≤10
Допустима похибка, мкм	1,2

Виходячи з складності конструкції приладу приймаємо його похибку не вищу похибки датчика індуктивного АНИТИМ 35 33

Отже похибка приладу $\Delta=1,2$ мкм

2.2 Конструкторські розрахунки окремих вузлів та механізмів приладу для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь

Розрахунок приводу повороту деталі

Беручи до уваги габарити, масу та інерційність контрольованої деталі – валка мугомольного верстата А1-63-3Н.

Маса валка складає

$$z = \frac{d}{m} = \frac{125}{2.5} = 50 \quad (2.1)$$

$$m = \sum_{i=1}^n \frac{\pi d_i^2}{4} l_i \gamma \quad (2.2)$$

де: d_i - діаметр і-тої ділянки валка l_i - довжина і-тої ділянки валка
 $\gamma = 7850 \text{ кг/м}^3$ густина сталі

$$m = \left(\frac{\pi \cdot 0.0075^2}{4} \cdot 0.150 \cdot 2 + \frac{\pi \cdot 0.008^2}{4} \cdot 0.12 + \frac{\pi \cdot 0.250^2}{4} \right) = 7850 = 403 \text{ кг.}$$

Маса валка складає $m=400$ кг.

Теоретичний осьовий момент інерції валка складає

$$I = \sum \frac{\pi d_i^4}{32} \gamma \cdot l_i - \frac{\pi \gamma}{32} \sum_{i=1}^n d_i^4 \cdot l_i \quad (2.3)$$

$$I = \frac{\pi \cdot 7850}{32} (0.075^2 \cdot 0.15 \cdot 2 + 0.08^4 \cdot 0.12 + 0.25^4 \cdot 1) = 3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Для повороту на один оберт деталі для контролю неможливо підібрати відповідний кроковий двигун. Тому привід найбільш оптимального проектування пневматичний.

Визначення необхідного крутного моменту.

Приймаючи орієнтовний час набирання швидкості контрольованою деталлю $t_p = 0,15$ с. припускаючи кутове прискорення $\sum = const$ - постійним при часі обертання деталі. $t_{об} \approx 2$ с.

Кутова швидкість деталі

$$\omega = \frac{2\pi}{t_{об}} = \frac{2\pi}{2} = 3,14 \text{ рад / с.} \quad (2.4)$$

Кутове прискорення

$$\sum = \frac{\omega}{t_p} = \frac{3,14}{0,14} = 21 \text{ рад / с}^2 \quad (2.5)$$

Момент інерції деталі

$$M_i = \sum I = 3 \cdot 21 = 63 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.6)$$

Отже пружний момент на шпінделі повинен бути не менший ніж $M=63$ Н.м

Вибір пневмоциліндра

З метою отримання оптимальних розмірів рейкової передачі орієнтуємося на хід рейки $L=400$ мм.

Номінальний діаметр шестірні

$$d = \frac{L}{\pi} = 127 \text{ мм} \quad (2.7)$$

Зусилля пневмоциліндра

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		26

$$P = \frac{2M}{d_1} = \frac{2.03}{0.127} = 989H \quad (2.8)$$

Приймаємо пневмоциліндр двосторонньої дії з діаметром поршня $D=63$ мм та діаметром штока $d=20$ мм та ходом 400 мм англійської фірми "CAMOZZI", який при тиску $P=0,4$ МПа що є мінімальним в пневмомережі, і коефіцієнті поршневої дії $\eta=0,9$ розвиває зусилля.

З боку безшпонової порожнини.

$$P = \frac{\pi D^2}{4} P \eta = \frac{\pi \cdot 63^2}{4} \cdot 0.4 \cdot 0.9 = 1122H \quad (2.9)$$

З боку шпонкової порожнини

$$P = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} P \eta = \frac{\pi(63^2 - 20^2)}{4} \cdot 0.4 \cdot 0.9 = 1009H$$

Розрахунок рейкової передачі

Ділильний діаметр зубчастого колеса

$$d_1 \geq \frac{K}{[G_k]} \sqrt{\frac{M_k}{b K_v}} \quad (2.10)$$

де K – коефіцієнт тиску, для прямозубих передач $K=6700$ K_v - коефіцієнт, що враховує швидкість в зачепленні при $V \leq 1$ м/с $K_v = 1$ b - ширина зуба рейки приймаємо $b=25$ мм. $[G]$ – допустимі контактні напруження.

Приймаємо для виготовлення рейки та зубчастого колеса сталь 40Х.

Твердість робочих поверхонь HRC 45...50

Допустимі напруження на згин зубів $[G_{зг}] = 380$ МПа

Допустимі контактні напруження $[G_{зг}] = 900$ Мпа.

Тоді ділильний діаметер зубчастого колеса

$$d_1 \geq \frac{6700}{900} \sqrt{\frac{63 \cdot 10^3}{25 \cdot 1}} = 118.мм$$

Приймаємо $d=125$ мм

Модуль зачеплення $M = 2.5$ мм

Число зубів колеса

$$z = \frac{d}{m} = \frac{125}{2.5} = 50 \quad (2.11)$$

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Уточнюємо пружний момент на колесі

$$G_{32} = \frac{6,35 \cos \beta}{m^2 b z Y} M \frac{1}{K_v} \quad (2.12)$$

$$M = P_2 \frac{d_1}{2} = 1122 \frac{0,125}{2} = 70 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.13)$$

Перевіряємо контактні напруження в зачепленні.

$$G_k = \frac{k \cos \beta}{z m} \sqrt{\frac{M}{b K_0}} \quad (2.14)$$

де β - кут нахилу зубів $\beta=0 \quad \cos \beta=1$

$$G_k = \frac{6700}{50 \cdot 2,5} \sqrt{\frac{70 \cdot 10^3}{25}} = 897 \text{ МПа} \leq [G_k] = 90 \text{ МПа}$$

Напруження згину в зачепленні

$$G_{32} = \frac{6,35 \cos \beta}{m^2 b z Y} M \frac{1}{K_v}$$

де: Y - коефіцієнт форми зуба, для рейки $Y=0,154$

$$G_{32} = \frac{6,35}{2,5 \cdot 25 \cdot 50 \cdot 0,154} \cdot 70 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{1} = 369 \text{ МПа} < [G_k] = 380 \text{ МПа}$$

Отже міцність рейкової зубчастої передачі забезпечена.

Геометричні параметри передачі:

Зубчасте колесо: дільний діаметр $d=m \cdot z=2,5 \cdot 50=125$ мм; діаметер кіл виступів $d_a = m(z+2)=2,5(50+2)=130$ мм; ширина зубчатого вінця $l_2 = l_1 + 3 \dots 5 \text{ мм} = 25 + 3 \dots 5 = 28 \dots 30 \text{ мм}$. Приймаємо 30 мм

Рейка

Висота головки зуба $h_a < m = 2,5 \text{ мм}$; висота ніжки зуба $h_f \cdot 1,25m = 1,25 \cdot 2,5 = 3,125 \text{ мм}$ висота зуба $h < h_a + h_f = 2,5 \cdot 3,125 = 5,625 \text{ мм}$; довжина нарізної частини рейки не менше

$$L=S+l_1$$

де S – хід пневмоциліндра $S = 400$ мм l_1 - довжина направляючої

$$l_1=140 \text{ мм}$$

$$L=400+140=540 \text{ мм}$$

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для зачеплення деталі з шпінделем використовується поводок, що знаходиться в шпоночному пазі валка.

Для підйому поводка при встановленні (зняття деталі) використовуємо мініатюрний пневмоциліндр з діаметром 12 мм.

Зусилля та поводок при тиску $P=0,4$ МПа та $\eta=0,9$

$$w = \frac{\pi n_{ном}}{30} = \frac{\pi \cdot 862,5}{30} = 90,3 \text{ рад/с.} \quad (2.15)$$

$$P = \frac{\pi D^2}{4} P \eta = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} \cdot 0,4 \cdot 0,9 = 40 \text{ Н} \quad (2.16)$$

Розрахунок кінематичних параметрів приводу деталі

При проєктованому часі обертання деталі $t_{об} = 2$ с. кутова швидкість складає

$$w = 3,14 \text{ рад/с.}$$

Лінійна швидкість рейки

$$V = \frac{\pi d}{t_{об}} = \frac{\pi \cdot 125 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,2 \dots 1 \text{ м/с.} \quad (2.17)$$

Що відповідає нижній межі рекомендованих швидкостей руху поршня пневмоциліндра.

$$V_{нен} = 0,2 \dots 1 \text{ м/с.}$$

Вибір приводу висувного центру

Для деталі з малими швидкостями обертання використовують неповоротні центри.

Для приводу висувного центра приймаємо коротко ходовий пневмоциліндр з діаметром поршня $D=63$ мм та ходом $S=75$ мм, який достатній для виводу з зічеплення.

Зусилля притискання висувного центру до деталі регулюється рівнем тиску повітря, що подається до пневмоциліндра.

При $P=0,4$ МПа зусилля складає $P_1 = 1122$ Н.

При $P=0,1$ МПа зусилля складає $P_1 = 281$ Н.

Розрахунок на згин штока висувного центра

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		29

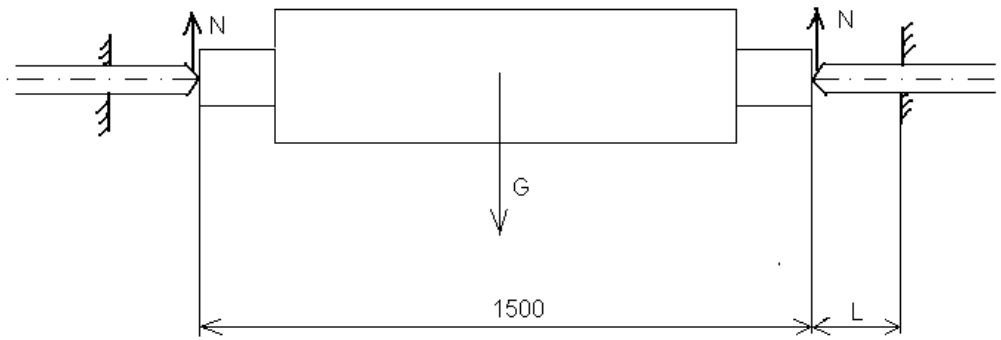


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема штока висувного центра

При вазі вала $G=mg=400 \cdot 9.8=3924$ Н.

Враховуючи симетричність валка, реакції від вертикального навантаження складають.

$$N = \frac{G}{2} = \frac{3924}{2} = 1962 \text{ Н} \quad (2.18)$$

Найбільший згинальний момент

$$M_{зг} = Nl$$

де l - найбільший вильот центра $l = 85$ мм

$$M_{зг} = 1962 \cdot 0,0085 = 166,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Найбільші напруження згину

$$G_{зг} = \frac{M_{зг}}{W} \quad (2.19)$$

де W - осьовий момент інерції поперечного січення вала.

$$W = 0,1 \pi d^3 - \frac{b \pi (\alpha - t)^2}{2 \pi 5} \quad (2.20)$$

де d - діаметр циліндричної частини центра $d = 35$ мм b - ширина канавки $b = 7,5$ мм. t - глибина канавки $t = 4$ мм.

$$W = 0,1 \pi 35^3 - \frac{7,5 \pi 4 (35 - 4)^2}{2 \pi 5} = 3876 \text{ мм}^3$$

$$G_{зг} = \frac{166 \pi 10^2}{3876} = 43 \text{ МПа} < [G_{зг}] = 370 \text{ МПа}$$

Умова міцності на згин висувного штока забезпечена.

						КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
							30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

Розрахунок приводу каретки з індуктивними перетворювачами і балансирами

Вибір ходового гвинта приймаємо для приведення в дію каретки ходовий гвинт з трансцїдальною різьбою T_r 20x4 з параметрами

При $p=4$ мм

Зовнішній діаметр гвинта $d=20$ мм

Гайки $D=20,5$ мм

Середній діаметр $d_2 = D_2 = 18$ мм

Внутрішній діаметр гвинта $d_3 = 15,5$ мм

Гайки $D_1 = 16$ мм

Для приводу каретки орієнтуємося на кроковий двигун ДШ-800,16, для якого номінальний круглий момент $M = 0,16$ Нм

Крок $\alpha = 22,5$

Номінальна частота зміни кроків $f_{ном} = 230$ крок/с

максимальна частота зміни кроків $t_{ном} = 360$ крок/с.

Кількість кроків за оберт

$$z = \frac{360^\circ}{\alpha} = \frac{360^\circ}{22,5} = 16 \text{ кроків} \quad (2.21)$$

Частота обертання (коливання)

$$n_{yv} = \frac{230}{10} = 14,4 \text{ об/с} = 862,5 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість (номінальна)

$$\omega = \frac{\pi n_{ном}}{30} = \frac{\pi \cdot 862,5}{30} = 90,3 \text{ рад/с.} \quad (2.22)$$

2.3 Конструкційний та технологічний аналіз деталі "Тримач"

Тримач – призначена для затиску індуктивного датчика в приладі для контролю відхилень від круглості і радіального биття мукомельних валків.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		31

Вибір в якості матеріалу Сталі 20 ДСТУ 3671–97 обумовлюється суттєвими навантаженнями, що діють на “Тримач” в процесі експлуатації, механічні властивості, якої приведені в таблиці 2.3, а особливості хімічного складу в таблиці 2.4

Таблиця 2.3 – Механічні властивості

Марк а сталі	Механічні властивості, МПа		
	σ в	σ_T	δ , %
Сталь 20	6 10	360	16

Таблиця 2.4 – Хімічний склад

C,%	Si, %	Mn ,%	S, %	P, %	Ni, %
0,18 -0,20	0,17 -0,37	0,5 0-0,80	\leq 0,045	\leq 0,045	\leq 0,30

Технологічні властивості і коефіцієнт обробки $k_v=1,0$ (добре обробляється інструментом з швидкорізальної сталі Р6М5 або з твердого сплаву типу ТК – титано-кобальтового).

Аналіз технологічності оброблюваної деталі

Деталь “Тримач” виготовляється з Сталь 20 ДСТУ 10580:2008.

Форма деталі і габаритні розміри 63x24x33 мм, дозволяють вибрати в якості заготовки прокат калібрований квадратний, або штамповку з того ж прокату, економічна доцільність того, чи іншого варіанту буде розглянута в пункті 4 даної записки. Очевидно, що необхідно провести чистове фрезкування всіх поверхонь.

Високі вимоги до точності і шорсткості поверхні отвору $\varnothing 22-7H$ мм потребують: базування по попередньо обробленій поверхні; використання

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		32

розвертання, як останньої технологічної операції при обробці. Нарізання різьби МЗ-8Н можна проводити, як на свердлильному верстаті, так і на спеціальному різьбонарізному, економічна доцільність того, чи іншого варіанту буде розглянута в пункті 6 даної записки. Виготовлення пазу шириною 2мм потребує розробки спеціального пристосування, при цьому базування необхідно провести по поверхням, що перпендикулярні до напрямку пазу, аналогічне, але багатомісне пристосування необхідно розробити для виготовлення пазу шириною 22 мм.

В якості технологічної бази при всіх операціях доцільно використовувати одну поверхню, що забезпечить високу точність взаємного розміщення поверхонь.

Всі інші розміри мають допуски і параметри шорсткостей, що не вимагають спеціального інструмента і устаткування.

Визначення типу виробництва

У серійному виробництві кількість деталей в партії для одночасного запуску, згідно рекомендації можна визначати спрощеним способом:

$$n = \frac{N \times a}{F} \quad (2.23)$$

n-кількість деталей в партії, шт;

N-річна програма випуску деталей (розрахункова), шт.;

$$N = N_1 \times m \times \left(1 + \frac{B}{100}\right) \text{ шт.} \quad (2.24)$$

a- число днів, на, які необхідно мати запас деталей (періодичність запуску – випуску, що відповідає потребам зборки), a=10 – відповідно рекомендацій);

F=253дні -число робочих днів у році,[1 ст 22];

N1=4000 шт - річна програма випуску деталей (задана), шт;

m=1 шт - кількість деталей даної назви в виробі, шт;

B=5% - кількість деталей, які необхідно виготовити додатково в якості запасних частин, задане в процентах від річної програми.

Отже:

N=4000*1*1.05=4200 шт.

n=4200*10/253=166 шт.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 2.5 – Час штучно-калькуляційний

Визначення наближеного штучно-калькуляційного часу.					
	T ₀ , хв		φ	T _{шк} , хв	
Операція 005					
Перехід 1	0.007*1	0,245	1,84	T ₀ *φ	0,451
Перехід 2	0.007*1	0,245			0,451
Перехід 3	0.007*1	0,441			0,811
Перехід 4	0.007*1	0,441			0,811
Перехід 5	0.007*1	0,245			0,451
Перехід 6	0.007*1	0,245			0,451
Перехід 7	0.007*1	0,441			0,811
Перехід 8	0.007*1	0,441			0,811
		2,744			
Операція 010					
Перехід 1	0,00052*d*1	0,232	1,72	T ₀ *φ	0,398
Перехід 2	0,00052*d*1	0,137			0,236
Перехід 3	0,00021*d*1	0,062			0,106
Перехід 4	0,00052*d*1	0,007			0,013
Перехід 5	0,00052*d*1	0,011			0,020
Перехід 6	0,00052*d*1	0,022			0,037
Перехід 7	0,00052*d*1	0,018			0,030
Перехід 8	0,00021*d*1	0,062		0,106	
Перехід 9	0,00052*d*1	0,001		0,002	
Перехід 10	0,00052*d*1	0,033	1,72		0,033
		0,551			0,949
Операція 015					
Перехід 1	0.007*1	0,245	1,84	T ₀ *φ	0,451
		0,245			0,451
				Всього	6,448

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 037.00.00.000 ПЗ

Арк.

34

Прийmemo всього виготовляється за рік 4200 - з яких 200 - в якості запасних.

$$t_z = \frac{F_a \times 60}{N}; \frac{\partial \hat{a}}{\phi \partial} \quad (2.25)$$

При виконанні курсового проектування приймають, що тип виробництва визначається двома основними факторами: програмою випуску деталей і витратами часу на виготовлення однієї деталі.

На основі заданої програми розраховують такт випуску деталі t_v :

F-дійсний річний фонд роботи обладнання, $F=2030$ год. при роботі в 1 зміну;

N-річна програма випуску деталей (розрахункова), в.; $N=5250$ шт.

$$t_v = 2030 \times 60 / 4200 = 29 \text{ хв/ в.}$$

Трудомісткість визначають за середнім штучним часом $T_{шт}$ за операціями чинного на виробництві або аналогічного технологічного процесу.:

$T_{шт_i}$ – штучний чи штучно-калькуляційний час на кожній операції

N – число операцій $n=3$. Сумарний час штучно-калькуляційний аналогічного технологічного процесу знаходимо за наближеними формулами,

$$T_{шт\text{ ср}} = 6,448 / 3 = 2,15 \text{ хв.}$$

$$k = \frac{t_v}{T_{шт\text{ ср}}} \quad (2.26)$$

Відношення цих величин прийнято називати коефіцієнтом серійності k :

$$k = 29 / 2,15 = 13,49255583127$$

Відповідно при $10 < k < 20$ – виробництво мілкосерійне.

Вибір і визначення ціни заготовки

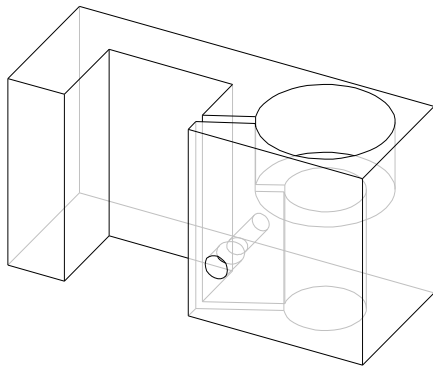
Виходячи з матеріалу деталі, конфігурації і розмірів (рис. 2.3.а) в якості заготовки візьмемо гарячекатаний прокат квадратного перерізу (рис 2.3.б), або штамповку з цього ж прокату (рис. 2.3.в).

Квадрат $\frac{A34 \text{ ДСТУ}17375-2003}{\text{Сталь } 20 \text{ ДСТУ}7809:2015}$; (4 т.1 ст.130 таб.32)

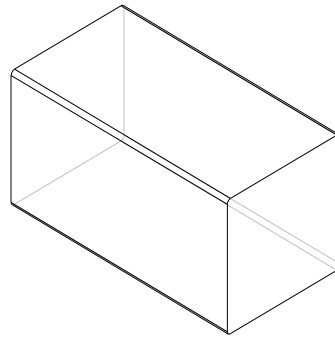
					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		35

Очевидно, що технологічний процес виготовлення деталі залежить від способу отримання заготовки. Розрахуємо вартість кожного з типів заготовки і виберемо дешевший.

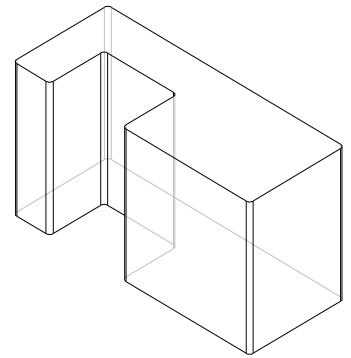
Для деталей, що виготовляються з прокату, затрати на заготовку визначаються по вазі прокату, що затрачується на виготовлення деталі і вазі її стружки, що залишається після обробки.



а)



б)



в)

Приймається до уваги стандартна довжина прутка, відходи на відрізання:

Довжина прутка $L=1005$ мм - з одного прутка отримаємо:

$n=L/(l+H)=1005/(65+2)=15$ шт деталей, де

H -ширина відрізної пили, $H=2$ мм.

Таким чином з прутка не залишається відходів у вигляді обрізків.

$$m_{вд} = \rho \times r^2 \times H \quad (2.27)$$

де: m -маса стружки, що утворюється при відрізання; ρ - густина матеріалу прутка, для сталі рівна 6500 кг/м³ r – сторона квадрату прутка, $r=34$ мм;

$m_{вд}=6500*0.034^2*0.002= 0,015$ кг.

$$S_{заг} = Q \times S - (Q - q + m_{вд}) \times \frac{S_{отх}}{1000}, \text{ грн}[1сг31] \quad (2.28)$$

$S_{заг}$ - ціна заготовки, з врахуванням стандартної довжини прутка.

Q -маса заготовки, кг:

Масові характеристики заготовки з гарячекатаного каліброваного прокату для деталі “Тримач”

Щільність = 0.0065 гр на мм³

										Арк.
										36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат						

Маса = 488.0473 гр

Об'єм = 75084.2035 мм³

Площа поверхні = 11038.6902 мм³

Центр мас: (мм) X = 32. 5000; Y = -17. 0000; Z = 17. 0000

Основні осі інерції й основні моменти інерції:(гр * мм³)

I_x = (1. 0000, 0. 0000, 0. 0000) P_x = 93896. 1463

I_y = (0. 0000, 0. 0000, -1. 0000) P_y = 218781. 4014

I_z = (0. 0000, 1. 0000, 0. 0000) P_z = 218781. 4014

Моменти інерції: (гр * кв. мм

Обчислюється за допомогою активної системи координат.

I_{xx} = 375987. 4990 I_{xy} = -269646. 1459 I_{xz} = 269646. 1459

I_{yx} = -269646. 1459 I_{yy} = 875327. 0626 I_{yz} = -141045. 6763

I_{zx} = 269646. 1459 I_{zy} = -141045. 6763 I_{zz} = 875327.0626

S - ціна одного кг матеріалу заготовки, грн - S=0.120-0.160 грн, прийmemo 0.150 грн

Масові характеристики деталі "Тримач".

Щільність = 0.0065 гр на мм³

Маса = 200 гр

Об'єм = 30764. 7559 мм³

Площа поверхні = 11211.7646 мм²

Центр мас: (міліметрів) X = 30. 6251; Y = 15. 5484; Z = 10. 2393.

Основні осі інерції й основні моменти інерції:(гр * мм³)

I_x = (0. 9972, -0. 0618, 0. 0421) P_x = 27933. 7200

I_y = (0. 0625, 0. 9979, -0. 0161) P_y = 89866. 2664

I_z = (-0. 0410, 0. 0187, 0. 9990) P_z = 96298. 3174

Моменти інерції: (гр * кв. мм)

Обчислюється за допомогою активної системи координат.

I_{xx} = 97599. 5075 I_{xy} = 99029. 9153 I_{xz} = 59843. 7122

I_{yx} = 99029. 9153 I_{yy} = 298149. 8670 I_{yz} = 32117. 1118

I_{zx} = 59843. 7122 I_{zy} = 32117. 1118 I_{zz} = 332071.3496

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		37

$S_{отх}$ – ціна одної тони відходів, 14.4грн.

Отже, вартість заготовки з прокату:

$$S_{заг} = 0,488 * 0.150 - (0,488 - 0,2 + 0,015) * 0.0144 = 0,0688368 \text{ грн} = 6,88 \text{ коп.}$$

заготовка з прутка.

$S_{заг}$ – ціна штампованої заготовки.

Масові характеристики штампованої заготовки для деталі “Тримач”

$$\text{Густина} = 0.0065 \text{ гр на мм}^3$$

$$\text{Маса} = 316.0297 \text{ гр}$$

$$\text{Об'єм} = 48619.9557 \text{ мм}^3$$

$$\text{Площа поверхні} = 10078.1062 \text{ мм}^2$$

$$\text{Центр мас: (мм)} X = 35.1995; Y = 17.5000; Z = 11.8077$$

Основні осі інерції й основні моменти інерції: (гр * мм³)

$$I_x = (0.9984, 0.0000, 0.0558) \quad P_x = 49758.8728$$

$$I_y = (0.0000, 1.0000, 0.0000) \quad P_y = 137738.5767$$

$$I_z = (-0.0558, 0.0000, 0.9984) \quad P_z = 152502.4368$$

Моменти інерції: (гр * кв. мм)

Обчислюється за допомогою активної системи координат.

$$I_{xx} = 190924.7812 \quad I_{xy} = 194671.5864 \quad I_{xz} = 125623.0284$$

$$I_{yx} = 194671.5864 \quad I_{yy} = 573362.6747 \quad I_{yz} = 65302.8289$$

$$I_{zx} = 125623.0284 \quad I_{zy} = 65302.8289 \quad I_{zz} = 640528.8253$$

S - ціна одного кг штамповок, грн - $S = 0.180 - 0.220$ грн, прийmemo 0.200 грн.

q-маса готової деталі, кг - $q = 0,316$ кг, $S_{отх}$ – ціна одної тони відходів, 14.4грн

Отже, вартість заготовки

$$S_{заг} = 0,316 * 0.200 - (0,316 - 0,2) * 0.0144 = 0,0615296 \text{ грн} = 6,15 \text{ коп.}$$
 – штампована

заготовка.

Таким чином використання заготовки з гарячекатаного прокату економічно доцільніше і дає річний економічний ефект у розмірі

$$E = 4200 * (6,88 - 6,15) / 100 \text{ грн} = 30,66 \text{ грн.}$$

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		38

В якості заготовки використовуємо штамповку з гарячекатаного прокату каліброваного квадратного сичення.

Розробка технологічного процесу виготовлення деталі “Тримач”

Операція 005 – Фрезерна. $f=3.01 \text{ м}^2$ – площа станка; $k_m=1.1$, $\alpha=0.26$; $k_f=3.5$; $\phi=1.84$; $N=3 \text{ кВт}$.

Станок - Горизонтально-фрезерний 6Н80Г

$f=3.01 \text{ м}^2$ – площа станка; $k_m=1.1$, $\alpha=0.26$ [1 ст.173]; $k_f=3.5$ [1 ст.44]; $\phi=1.84$; $N=3 \text{ кВт}$.

<i>Ціни і технічні характеристики</i>	<i>Значення</i>
Ціна, грн.	2750
Відстань осі або торця шпинделя до стола, мм	50 – 350
Відстань від вертикальних направляючих до середини стола, мм	180-340
Відстань від осі шпинделя до станини (виліт шпинделя), мм	123
Відстань від осі шпинделя до хобота, мм.	800 * 200
Розміри робочого стола, мм.	500
Максимальне переміщення, мм:	160
- Повздовжнє;	350
- Поперечне;	12
- Вертикальне.	
Число ступенів подач шпинделя	25 – 1120
Подача стола, мм/хв:	18 – 800
- Повздовжня;	9 – 400
- поперечна;	17
- вертикальна.	№2
Діаметр отвору шпинделя, мм	22; 27; 32
Конус Морзе шпинделя	12

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 037.00.00.000 ПЗ

Арк.

39

Ціни і технічні характеристики	Значення
Діаметр оправок інструмента, мм	50-2240
Кількість швидкостей шпинделя.	
Границі чисел обертів шпинделя в хвилину, об/хв.	3 0.6
Потужність електродвигуна, кВт:	1720*175
- головного руху;	0
- подачі стола.	16
Габарити станка, мм	
Категорія ремонтної складності	

Установка 1. Базування по поверхням **Б** і **Б1**, поворотне (180°) пристосування.

Перехід 1.

Виготовлення поверхні **А**, ширина Н=26 мм, довжина l=35 мм, tзаг=1 мм – чистове фрезування, один прохід.

Інструмент – фреза дискова тристороння з вставними ножами з швидкоріжучої сталі Р18 по ДСТУ 1669-69: фреза 224*36 ДСТУ 1669-69-2241-0187 (3 ст.327 таб.47)

V=36 мм; D=224 мм; d=60 мм; число ножів 18.

Перехід 2.

Виготовлення поверхні **А1**, ширина Н=26 мм, довжина l=35 мм, глибина tзаг=1 мм – чистове фрезування.

Інструмент – фреза дискова тристороння з вставними ножами з швидкоріжучої сталі Р18 по ДСТУ 1669-69: фреза 224*36 ДСТУ 1669-69-2241-0187 (V=36 мм; D=224 мм; d=60 мм; число ножів 18.

Установка 2. Базування по поверхням **А** і **А1**, поворотне (180°) пристосування.

Перехід 3.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Виготовлення поверхні **Б1**, ширина Н=35 мм, довжина l=63 мм, глибина tзаг=1 мм – чистове фрезування.

Інструмент – фреза дискова тристороння з вставними ножами з швидкоріжучої сталі Р18 по ДСТУ 1669-69: фреза 224*36 ДСТУ 1669-69-2241-0187

V=36 мм; D=224 мм; d=60 мм; число ножів 18.

Перехід 4.

Виготовлення поверхні **Б**, ширина Н=35 мм, довжина l=63 мм, глибина tзаг=1 мм – чистове фрезування.

Інструмент – фреза дискова тристороння з вставними ножами з швидкоріжучої сталі Р18 по ДСТУ 1669-69: фреза 224*36 ДСТУ 1669-69-2241-0187 (3 ст.327 таб.47)

V=36 мм; D=224 мм; d=60 мм; число ножів 18.

Перехід 5.

Виготовлення пазу в поверхні **Б**, ширина Н=20 мм, довжина l=35 мм, глибина tзаг=1 мм – тонке фрезування.

Інструмент – фреза дискова тристороння з вставними ножами з швидкоріжучої сталі Р18 по ДСТУ 1669-69: фреза 200*20 ДСТУ 1669-69-2241-0179 (3 ст.327 таб.47)

V=20 мм; D=200 мм; d=60 мм; число ножів 20.

Перехід 6.

Виготовлення пазу в поверхні **Б**, ширина Н=20 мм, довжина l=35 мм, глибина tзаг=1 мм.

Всього 2 проходи:

1*0,7 мм – чистове фрезування;

1*0,3 мм - тонке фрезування.

Інструмент – фреза кінцева з швидкоріжучої сталі Р18 з нормальним зубом, з конічним хвостовиком по ДСТУ 17026-71: фреза 223-0048-Р18

D=22 мм; L=145 мм; l=44 мм; конус Морзе №3; число зубів 5

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$f=0.9 \text{ м}^2$ – площа станка; $km=0.7$, $\alpha=0.22$ [1 ст.175]; $kf=4$ [1 ст.44]; $\varphi=1.72$ [1 ст.173].

Установка 1. Базування по поверхням *A* і *A1*.

Перехід 1.

Свердлити отвір $\varnothing 13,5$ мм, в поверхні *B*, глибина свердління 33 мм.
 $t=2*6,75$ мм.

Інструмент – Спіральне свердло з конічним хвостовиком, довгі з швидкоріжучої сталі P18 по ДСТУ 12121-77: *Свердло 13,5-T-2 ДСТУ 12121-77-P18* (3 ст.303)

$d=13,5$ мм; $L=230$ мм; $l_0=150$ мм.

Перехід 2.

Розсвердлити отвір $\varnothing 13,5$ мм, в поверхні *B*, до $\varnothing 22$ мм глибина розсвердлювання 12 мм. $t=2*4,25$ мм.

Інструмент – Спіральне свердло з конічним хвостовиком, довгі з швидкоріжучої сталі P18 по ДСТУ 12121-77: *Свердло 22-T-2 ДСТУ 12121-77-P18* (3 ст.303)

$d=22$ мм; $L=290$ мм; $l_0=190$ мм.

Перехід 3.

Розвертання отвору діаметром 13,5 мм до діаметру 14 мм, глибина розвертання 21 мм. $t=2*0,25$ мм.

Інструмент – Розвертка машинна з конічним хвостовиком з сталі P18 для обробки наскрізних отворів по ДСТУ 1672-71: *Розвертка 2363-0195-P18 ДСТУ 1672-71*.

$d=14$ мм; $L=160$ мм; $l=18$ мм.

Перехід 4.

Виготовлення фаски $1*45$ на отворі діаметром 14 мм. $t=2*0,5$ мм

Інструмент – Зенкер з циліндричним хвостовиком для виготовлення фасок в отворах по ДСТУ 21580-76:2324-0004 *Зенкер 14 №4-II-P18-ДСТУ 21580-76*

$d=12$ мм; $D=16$ мм; $H=10$ мм; $\varphi=90^\circ$.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		43

Перехід 5.

Виготовлення фаски 1*45 на отворі діаметром 22 мм. $t=2*0.5\text{мм}$

Інструмент – Зенкер з циліндричним хвостовиком для виготовлення фасок в отворах по ДСТУ 21580-76:2324-0017 Зенкер 22 №4-II-P18-ДСТУ 21580-76

$d=20\text{ мм}; D=24\text{ мм}; H=14\text{ мм}; \varphi=90^\circ$.

Установка 2. Базування по поверхням *A* і *A1*.

Перехід 6.

Свердлити отвір діаметром 2,6 мм, під різьбу МЗ, глибина свердління 16 мм. $t=2*1,3\text{ мм}$.

Інструмент – Спіральне свердло з циліндричним хвостовиком, середня серія з швидкоріжучої сталі Р18 по ДСТУ 10902-64 або МН580-65:2300-0150-Р18 чи (Свердло ДСТУ10902-64*d=2,6-1)

$d=2,6\text{ мм}; L=55\text{ мм}; l_0=30\text{ мм}$.

Перехід 7.

Розсвердлити отвір діаметром 2,6 мм, до $\varnothing 4\text{ мм}$, глибина розсвердлювання 8,5 мм. $t=2*2\text{ мм}$.

Інструмент – Спіральне свердло з циліндричним хвостовиком, середня серія з швидкоріжучої сталі Р18 по ДСТУ 10902-64 або МН580-65:2300-0167-Р18 чи (Свердло ДСТУ10902-64*d=4-1)

$d=4\text{ мм}; L=75\text{ мм}; l_0=42\text{ мм}$.

Перехід 8.

Нарізати різь в отворі діаметром 2,6 мм – МЗ-8Н, глибина нарізання різі 15,2 мм. $t=2*0.2\text{ мм}$.

Інструмент – Мітчик машинно-ручний з сталі Р18: *Мітчик МЗ А ДСТУ 3266-71,2620-1059*.

Крок 0,5 мм; $d_1=3,15\text{ мм}; L=48\text{ мм}; l_1=12\text{ мм}$.

Перехід 9.

Виготовлення фаски 0,5*45 на отворі діаметром 4 мм. $t=2*0.25\text{мм}$

Інструмент – Зенкер з циліндричним хвостовиком для виготовлення фасок в отворах по ДСТУ 21580-76:2324-0127 Зенкер 4 №4-II-P18 ДСТУ 21580-76

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		44

$d=3$ мм; $D=5$ мм; $H=5$ мм; $\varphi=90^\circ$.

Установка 3. Базування по поверхням **B** і **B1**.

Перехід 10.

Свердлити 2 отвори діаметром 6,5 мм, глибина свердління 10 мм. $t=2*1,3$ мм.

Інструмент – Спіральне свердло з циліндричним хвостовиком, середня серія з швидкоріжучої сталі P18 по ДСТУ 10902-64 або МН580-65:2300-0150-P18 чи (Свердло ДСТУ10902-64*d=6,5-1)

$d=6,5$ мм; $L=55$ мм; $l_0=30$ мм.

Операція 015 – Фрезерна.

Станок - Горизонтально-фрезерний 6Н80Г (1 ст.213 таб.4.40.)

Установка 1. Базування по поверхням **B** і **B1**, фрезерне пристосування.

Перехід 1.

Виготовлення пазу в бічній поверхні пазу, ширина $H=2$ мм, довжина $l=33$ мм, $t_{заг}=14$ мм.

Всього 7 проходів по 2 мм – чорнове фрезування.

Інструмент – фреза прорізна з ножами з швидкоріжучої сталі P18 по ДСТУ 2679-61: фреза II 80*2 AA ДСТУ 2679-61 (3 ст.327 таб.47)

$B=2$ мм; $D=80$ мм; $d=22$ мм; число ножів 45.

Розрахунок режимів різання

Розрахуємо режим різання для операції 015 фрезерна перехід 1.

На горизонтально – фрезерному верстаті 6Н80Г проводиться виготовлення пазу в бічній поверхні пазу, ширина $H=2$ мм, довжина $l=33$ мм, $t_{заг}=14$ мм. Всього 7 проходів по 2 мм – чорнове фрезування.

Оброблюваний матеріал – Сталь 20 з $\sigma=150$ МПа; заготовка – штамповка з гарячекатаного прокату. Обробка чорнова параметр шорсткості поверхні $Ra=6,3$.

Приймаємо інструмент – Інструмент – фреза прорізна з ножами з швидкоріжучої сталі P18 по ДСТУ 2679-61: фреза II 80*2 AA ДСТУ 2679-61
Геометричні параметри фрези: ширина $B=2$ мм; зовнішній діаметр $D=80$ мм; внутрішній діаметр $d=22$ мм; число ножів $n=45$.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		45

Встановлюємо глибину різання. Припуск, що знімається за один робочий хід відповідно до (Зст.469таб.7) для прорізної фрези з зовнішнім діаметром $D=80$ мм, допустиме $t=h=3$ мм.

Назначаємо подачу на зуб фрези для прорізної фрези з різнонаправленими ножами при обробці конструкційної сталі, в випадку коли жорсткість системи заготовка - станок понижена (залежить від конструкції деталі), оскільки деталь закріплена в затискному пристосуванні: $Sz=0.15-0.25$ мм/зуб.

Прийmemo $Sz=0.2$ мм/зуб. Поправочний коефіцієнт на подачу $k=1$. Таким чином прийняте значення $Sz=0.2$ мм/зуб не змінюється.

Призначаємо період стійкості фрези. Для прорізної фрези з швидкоріжучої сталі $\varnothing 80$ мм рекомендується період стійкості $T=200$ хв.

Визначають швидкість головного руху різання, допустиму з огляду на різальні властивості фрези. За табличними даними для фрези діаметром $\varnothing 80$ мм, кількістю зубців $z=45$, глибиною різання $t=2$ мм і подачею на зуб $Sz=0.2$ мм/зуб отримують швидкість різання $v=13$ мм/хв.

Враховуючи поправочні коефіцієнти на швидкість: для сталі з $\sigma=150$ МПа - $K=1$; для випадку чистової обробки $K_{10}=1$

З врахуванням коефіцієнтів – $v=13$ мм/хв.

Частоту обертання шпинделя, що відповідає знайдений швидкості головного руху різання, визначають за відповідною розрахунковою формулою:

$$n = \frac{1000 \times v}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 13}{3.1415 \times 80} = 51,725 \frac{1}{\text{хв}} \quad (2.28)$$

Після цього виконують коригування частоти обертання шпинделя відповідно до паспортних даних верстата та приймають дійсне значення частоти обертання $n=50$ об/хв.

Визначаємо дійсну швидкість головного руху різання:

$$V_{\partial} = \frac{\pi \times D \times n}{1000} = \frac{3.1415 \times 80 \times 50}{1000} = 12,57 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \approx 0,21 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.29)$$

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		46

Визначаємо швидкість руху подачі (старий термін – хвилинна подача):
 $V_s = S_m = S_z \cdot z \cdot n = 0.2 \cdot 45 \cdot 50 = 450$ мм/хв.

Коректуємо цю величину по паспортним даним станка і встановлюємо дійсну швидкість подачі $V_{\partial n} = 450$ мм/хв. Визначаємо потужність, що затрачається на різання:

$$N_m = \frac{V \times B \times z}{1000} \times E \times k; \text{кВт.} \quad (2.30)$$

де: V – швидкість руху подачі, 450 мм/хв; B – ширина фрезування, $B = 2$ мм;

z – кількість зубів, 45 шт. E – величина, що приводиться в таблиці, 0.25; k – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу і матеріалу інструмента.

$$N_T = 450 \cdot 2 \cdot 45 \cdot 0.25 \cdot 1,2 / 1000 = 1,74 \text{ кВт.}$$

Перевіряємо чи достатня потужність приводу станка .

Необхідно щоб виконувалась умова $N_T < N_{ст}$

Потужність на шпинделі станка у станка 6Н80Г $N_{ст} = 3$ кВт, а $N_T = 1,74$ кВт, отже відповідно обробка можлива .

Основний час :

$$T_o = l / V$$

$l = 22,5$ мм – сума робочого ходу, перебігу і врізання

$$\text{Таким чином } T_o = 22,5 / 450 = 0,05 \text{ хв.}$$

За наближеними розрахунками в пункті 7 $T_o = 0.007 \cdot l = 0.007 \cdot 15 = 0,105$ хв.

Визначення необхідної кількості обладнання і побудова графіків

Для кожного станка в технологічному процесі повинні бути підраховані: коефіцієнт завантаження станка – η_z ; коефіцієнт використання станка по основному часу – η_o ; коефіцієнт використання станка по потужності приводу – η_n .

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		47

Таблиця 2.9 – Визначення часу для операцій

№ п/п	t, мм	L, мм	i	S, мм/зуб	N, об/хв	V, м/хв	Tm, хв	T ₀ , хв	T шк, хв	Np/Nст
Операція 010										
Перехід 1	1,00	35,00	1	0,20	50	36	300	0,20	0,36	0,2592/3
Перехід 2	1,00	35,00	1	0,20	50	36	300	0,20	0,36	0,2592/3
Перехід 3	1,00	63,00	1	0,20	50	36	300	0,35	0,65	0,2592/3
Перехід 4	1,00	63,00	1	0,20	50	36	300	0,35	0,65	0,2592/3
Перехід 5	1,00	35,00	1	0,20	50	32	300	0,18	0,33	0,256/3
Перехід 6	1,00	35,00	1	0,20	100	7	300	0,35	0,65	0,042/3
Перехід 7	1,00	63,00	1	0,20	50	36	300	0,35	0,65	0,2592/3
Перехід 8	1,00	63,00	1	0,20	50	36	300	0,35	0,65	0,2592/3
								2,34	4,30	
№ п/п	t, мм	L, мм	i	S, мм/об	N, об/хв	V, м/хв	Tm, хв	T ₀ , хв	T шк, хв	Np/Nст
Операція 010										
Перехід 1	2*6,75	33	1	0,3	800	34	120	0,1444	0,248	1,8/4
Перехід 2	2,*4,25	12	1	0,3	400	28	120	0,105	0,181	2,4/4
Перехід 3	2*0,25	21	1	0,4	250	11	80	0,2205	0,379	0,375/4
Перехід 4	2*0,5	1	1	0,1	250	11	60	0,042	0,072	0,375/4
Перехід 5	2*0,5	1	1	0,1	200	14	60	0,0525	0,09	0,375/4
Перехід 6	2*1,3	16	1	0,1	610	5	40	0,2754	0,474	0,045/4
Перехід 7	2*2	8,5	1	0,1	475	6	40	0,1879	0,323	0,045/4
Перехід 8	2*0,2	6,7	1	0,4	106,1	1	40	0,1658	0,285	0,045/4
Перехід 9	2*0,25	0,5	1	0,1	320	4	60	0,0164	0,028	0,375/4
Перехід 10	2*1,3	10	1	0,1	610	8	60	0,21	0,48	0,375/4
								1,21	2,08	

№ п/п	t, мм	L, мм	i	S, мм/зуб	N, об/хв	V, м/хв	Tm, хв	T ₀ , хв	T шк, хв	Np/Nст
Операція 015										
Перехід 1	14,00	33,00	7	0,20	50	13	300	0,074	0,136	2,574/3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 037.00.00.000 ПЗ

Арк.

48

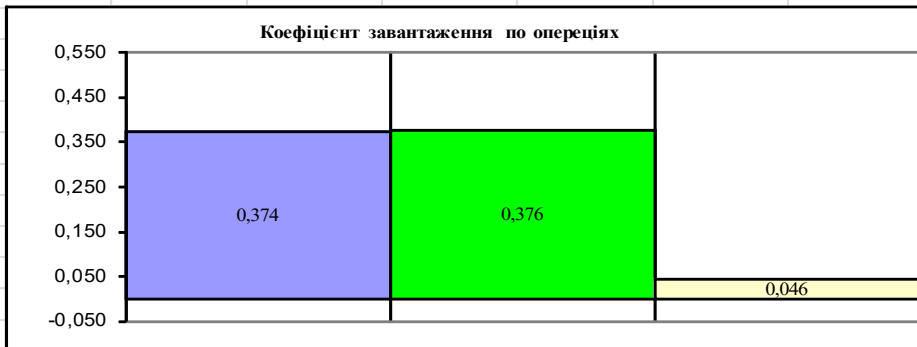
$$\eta_{\text{ср}} = \frac{\sum \eta_{\text{з}_i}}{n} = \frac{0.795}{3} = 0.199;$$

$$\eta_{\text{о ср}} = \frac{\sum \eta_{\text{о}_i}}{n} = \frac{0.383}{3} = 0.096;$$

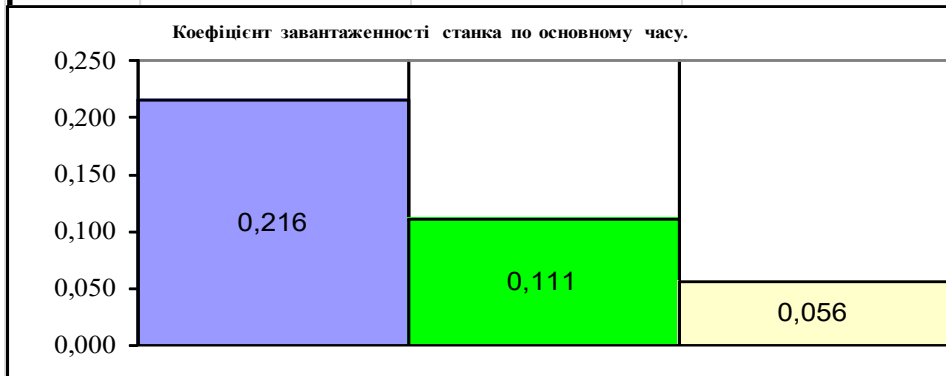
$$\eta_{\text{н ср}} = \frac{\sum \eta_{\text{н}_i}}{n} = \frac{0.583}{3} = 0.146$$

Таблиця 6. – Розрахунок коефіцієнтів завантаженості.

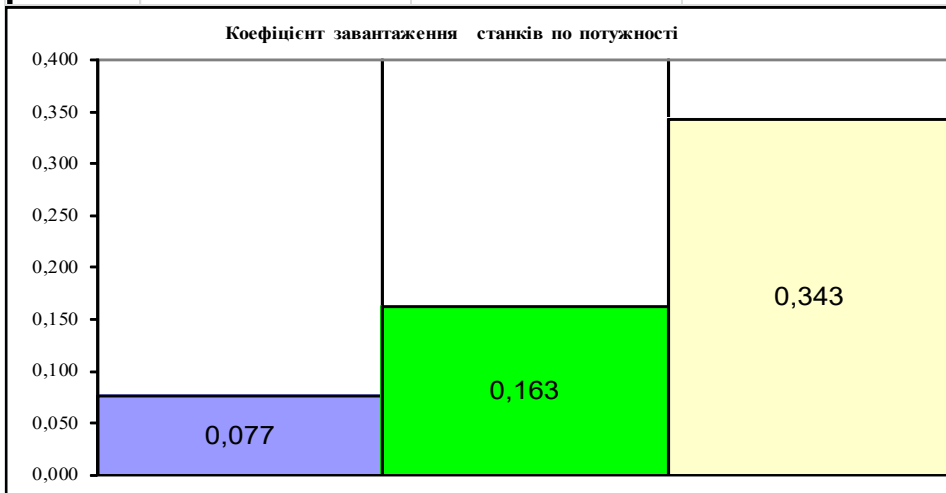
№ п/п	То, хв	Тшк, хв	тв	Нст, кВт	Нпр, кВт	mp, шт	mp пр, шт	ηз	ηо	ηн
005	2,340	10,84	29	3	0,23	0,3738	1	0,374	0,216	0,077
010	1,210	10,891	29	4	0,65	0,3756	1	0,376	0,111	0,163
015	0,074	1,321	29	3	1,03	0,0456	1	0,046	0,056	0,343
							Сума	0,795	0,383	0,583
							Середнє	0,199	0,096	0,146



Операція	015 - Фрезерна	010 - Сверлильна	015 - Фрезерна
Станок	6Н80Г	2Н135	6Н80Г



Операція	015 - Фрезерна	010 - Сверлильна	015 - Фрезерна
Станок	6Н80Г	2Н135	6Н80Г



Операція	015 - Фрезерна	010 - Сверлильна	015 - Фрезерна
Станок	6Н80Г	2Н135	6Н80Г

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 037.00.00.000 ПЗ

Арк.

49

$$\eta_3 = m_p / m_n \quad (2.31)$$

де: m_p – розрахункова кількість станків, шт; m_n – прийнята кількість станків. шт. $m_p = T_{шк} / t_v$, шт $T_{шк}$ - штучно-калькуляційний час на даному верстаті, хв;

t_v - такт випуску. $t_v = 29$ шт/хв. $\eta_0 = T_0 / T_{шк}$ T_0 – основний технологічний час на даному верстаті, хв. $\eta_n = N_{пр} / N_{ст}$ $N_{пр}$ – необхідна потужність на приводі станка для даної деталі, кВт;

$N_{ст}$ – паспортна потужність електродвигуна станка, кВт.

Розраховуються також середні значення коефіцієнтів завантаження: $n=3$ кількість операцій.

Визначення затрат по статтям собівартості і собівартості деталі

Сукупна собівартість деталі C складається з собівартості заготовки $S_{заг}$ плюс вартість механічної обробки деталі C_0 :

$S_{заг} = 6. \text{ коп}$ – розрахована в пункті №5 даної записки.

$$C_0 = \sum C_{0i} \quad (2.32)$$

C_0 – сума ціни механічної обробки по всіх операціях.

$$C = C_0 + S_{заг}$$

$$C_{0i} = \frac{C_{пз} \times T_{шк}}{60}; \text{ коп (1ст44фор 23)} \quad (2.33)$$

Вартість механічної обробки на операції C_{0i} :

Сп.з.- величина приведених часових затрат

$$C_{пз} = \frac{C_3}{M} + C_{чз} + E_n \times (K_c + K_3); \frac{\text{коп}}{\text{год}} \text{ (1ст41фор9)} \quad (2.34)$$

$T_{шк}$ – штучно –калькуляційний час операцій C_3 – основна і додаткова заробітна плата а також нарахування на соцстрах оператору і наладчику за фізичний час роботи обслуговуваних машин, коп/год M – коефіцієнт багатостаночності , що приймається по фактичному стану на дільниці , що розглядається, очевидно, що для середньо серійного виробництва $M=1$. $C_{чз}$ – часові затрати по експлуатації робочого місця, коп/год E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень: для

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

машинобудування $E_n = 0,2 K_c$ – приведені часові капітальні вкладення в станок;

K_z – приведені часові капітальні вкладення в будівлю

$$C_z = C_{тф} * 1.53 * k; \text{ коп/год.} \quad (2.35)$$

$C_{тф}$ – часова тарифна ставка робітника відповідного розряду коп/год

1,53 – сумарний коефіцієнт, що представляє собою добуток наступних коефіцієнтів

1,3 – коефіцієнт виконання норм

1,09 – коефіцієнт додаткової зарплати

1,077 – коефіцієнт відрахувань на соцстрах

k – коефіцієнт, що враховує зарплату наладчика (якщо наладка станка в серійному виробництві ведеться без участі наладчика самим робочим, то k приймається рівним 1, в умовах масового виробництва $k = 1,1 - 1,5$)

$$C_{чз} = C_{чз}^{бу} \times k_M; \frac{\text{коп}}{\text{год}} \quad (1cm43фор11) \quad (2.36)$$

m – машинно-коефіцієнт, що показує, в скільки раз затрати, що пов'язані з роботою даного станка, більші, чим аналогічні затрати у базового станка

$$K_c = \frac{Ц \times 100}{3200}; \frac{\text{коп}}{\text{год}} \quad (1cm44фор18) \quad (2.37)$$

$$K_z = \frac{F \times 75 \times 100}{3200}; \frac{\text{коп}}{\text{год}} \quad (1cm44фор19)$$

Капітальні вкладення в станок і будівлю можна визначити, для серійного виробництва:

$Ц$ – балансова вартість станка, грн; F - виробнича площа, яку займає станок, з врахуванням проходів:

$$F = f * k_f$$

f – виробнича площа, яку займає верстат; k_f – коефіцієнт, що враховує додаткову виробничу площу (на проходи, проїзди і інші).

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 1.14 – Вибір розряду робочих і параметрів оплати

п/п	Розряд робочого	Тарифна ставка, коп/год	Стф*1.53,коп/год
05	4	47.2	72.2
10	4	47.2	72.2
15	4	47.2	72.2

Операція 005. (6Н80Г)

Тшк=10,84 хв.

$f=3.01 \text{ м}^2$ $kf=3.5$ $F=3.01*3.5=10.535 \text{ м}^2$ $\text{Ц}=2750 \text{ грн}$ $km=1.1$

Стф=47,2 коп/год – часова тарифна ставка погодинник 4-горозряду зайнятого на холодних роботах.

$Kz=10.535*75*100/3200=24.69 \text{ коп/год.}$ $Kc=2750*100/3200=85.94 \text{ коп/год.}$

$Sчз=36.3*1.1=39.93 \text{ коп/год.}$ $Sз=47.2*1.53=72,2 \text{ коп/год.}$

$Sпз=72,2/1+39.93.9+0.2*(24.69+85.94)= 134,3 \text{ коп/год.}$

$Со_{005}=134,3*10,84/60= 24,26 \text{ коп.}$

Операція 010. (2Н135)

Тшк=10,891 хв.

$f=0.9 \text{ м}^2$ – площа верстата; $km=0.7$, $\alpha=0.22$ [1 ст 175]; $kf=4$ [1 ст 44]; $\varphi=1.72$

$F=0.9*4=3,6 \text{ м}^2$ $\text{Ц}=1580 \text{ грн.}$

Стф=47.2 коп/год – часова тарифна ставка погодинника 4-го розряду зайнятого на холодних роботах

$Kz=3,6*75*100/3200= 8,44 \text{ коп/год.}$ $Kc=1580*100/3200= 49,375 \text{ коп/год.}$

$Sчз=36.3*0.7=25.62 \text{ коп/год.}$ $Sз=47.2*1.53=72.2 \text{ коп/год.}$

$Sпз=72.2/1+25.6+0.2*(8,44+49,375)= 109,363 \text{ коп/год.}$

$Со_{010}= 109,363*10,891/60= 19,85 \text{ коп.}$

Операція 015. (6Н80Г)

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		52

$T_{шк}=1,321$ хв.

$f=3.01$ м² $k_f=3.5$ $F=3.01*3.5=10.535$ м² $Ц=2750$ грн $км=1.1$

$Стф=47,2$ коп/год – часова тарифна ставка $\eta_z=mp/mn$
(2.31)

де: mp – розрахункова кількість станків, шт; mn – прийнята кількість станків. шт. $mp=T_{шк}/t_v$, шт $T_{шк}$ - штучно-калькуляційний час на даному верстаті, хв;

t_v - такт випуску. $t_v=29$ шт/хв. $\eta_o=T_o/T_{шк}$ T_o – основний технологічний час на даному верстаті, хв. $\eta_n=N_{пр}/N_{ст}$ $N_{пр}$ – необхідна потужність на приводі станка для даної деталі, кВт; $N_{ст}$ – паспортна потужність електродвигуна станка, кВт.

Розраховуються також середні значення коефіцієнтів завантаження: $n=3$ кількість операцій. 4-горозряду зайнятого на холодних роботах.

$K_z=10.535*75*100/3200=24.69$ коп/год. $K_c=2750*100/3200=85.94$ коп/год.

$С_{чз}=36.3*1.1=39.93$ коп/год. $С_z=47.2*1.53=72,2$ коп/год.

$С_{пз}=72,2/1+39.93.9+0.2*(24.69+85.94)= 134,3$ коп/год.

$С_{o_{015}}=134,3*1,321/60= 2,96$ коп.

Таким чином загальна вартість механічної обробки деталі:

$С_o=С_{o_{005}}+С_{o_{010}}+С_{o_{015}}=47,07$ коп.

Отже повна собівартість деталі:

$С=С_o+S_{заг}=47,07+6,15=53,22$ коп.

Повна собівартість деталі "Тримач" рівна – 54 коп.

Проектування і опис роботи пристосування

При фрезеруванні деталь базується боковою поверхнею з упором в торець.

Використаний затиск, діючий нормально до поверхні заготовки повинен створити силу затиску, яка перешкоджатиме переміщенню обробленою заготовки під дією горизонтальної складової сили різання P_n . Сила Q затиску і сила тертя T пов'язані між собою співвідношеннями:

$$T = f \cdot Q \quad (2.38)$$

де f - коефіцієнт тертя.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		53

Надійний затиск заготовки забезпечується при умові, якщо

$$2f \cdot Q = kP_n \quad (2.39)$$

або

$$Q = \frac{kP_n}{2f} \quad (2.40)$$

де $f = 0.1$; k - коефіцієнт запасу, $k=1.7$ P_n - горизонтальна складова сили різання,

$$P_z = 10C_p t^x S^y v^n K_p \quad (2.41)$$

де P_z - головна складова сили різання, Н; C_p - коефіцієнт; K_p - поправочний коефіцієнт на якість оброблюваної деталі;

$$K_p = 0.6967$$

Далі визначаємо

$$C_p = 82.5; x = 0.95; y = 0.8; v = 1.1.$$

$$P_z = 137.95 \text{ Н}$$

$$P_z = P_n = 137.95 \text{ Н.}$$

$$Q = \frac{1.7 \cdot 137.95}{2 \cdot 0.1} = 1523.23 \approx 1524 \text{ Н}$$

Для забезпечення такого зусилля в спроектованому пристосібленні використовується пневмоциліндр з величиною вхідного тиску рівною

$$p = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (2.42)$$

де p – вхідний тиск камери пневмоциліндра; D – діаметр пневмоциліндра,

$$D = 55 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$p = \frac{4 \cdot 1524}{\pi \cdot (55 \cdot 10^{-3})^2} = 16.7 \text{ кПа.}$$

Даний діаметр поршня задовільняє умову.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		54

3 Спеціальна частина

3.1 Розробка функціональної схеми

Функціональна схема приладу (рис 3.1) для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь складається з таких елементів:

Двох індуктивних датчиків переміщення, з схемами узгодження;

Крокового електродвигуна з драйвером керування;

Трьох пневмоциліндрів з драйверами керування;

Мікроконтролера;

Центрального процесора

Рідкокристалічного дисплею;

Кнопок керування.

Вимірювання проводиться наступним чином. Вимірювана деталь зафіксовується в двох центрах. За допомогою електричного сигналу, що подається з центрального процесора через порти вводу/виводу до драйвера керування і пневмоциліндра 1, висувний центр закріплює вимірювану деталь. Також за допомогою центрального процесора через порти вводу/виводу і драйвер керування посилається сигнал до пневмоциліндра 2 який підносить вгору поводок і прижимає в шпоночний паз вимірювальну деталь пружиною. Після закріплення вимірюваної деталі з центрального процесора через порти вводу/виводу і драйвер керування посилає сигнал до пневмоциліндра 3 який приводить в рух зубчасту передачу яка обертає валок навколо своєї осі.

В якості вимірювачів лінійних переміщень використовуємо датчик індуктивний АНИТИМ 35 33. Індуктивний датчик закріплений на каретці яка приводиться в рух кроковим електродвигуном який керується за допомогою драйвера керування. Сигнал від індуктивного датчика прямує до схеми зняття даних яка порівнює ці дані з еталоном прямолінійності який теж закріплений на каретці. Сигнал від якого прямує через схему узгодження до аналогово-цифрового перетворювача.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		55

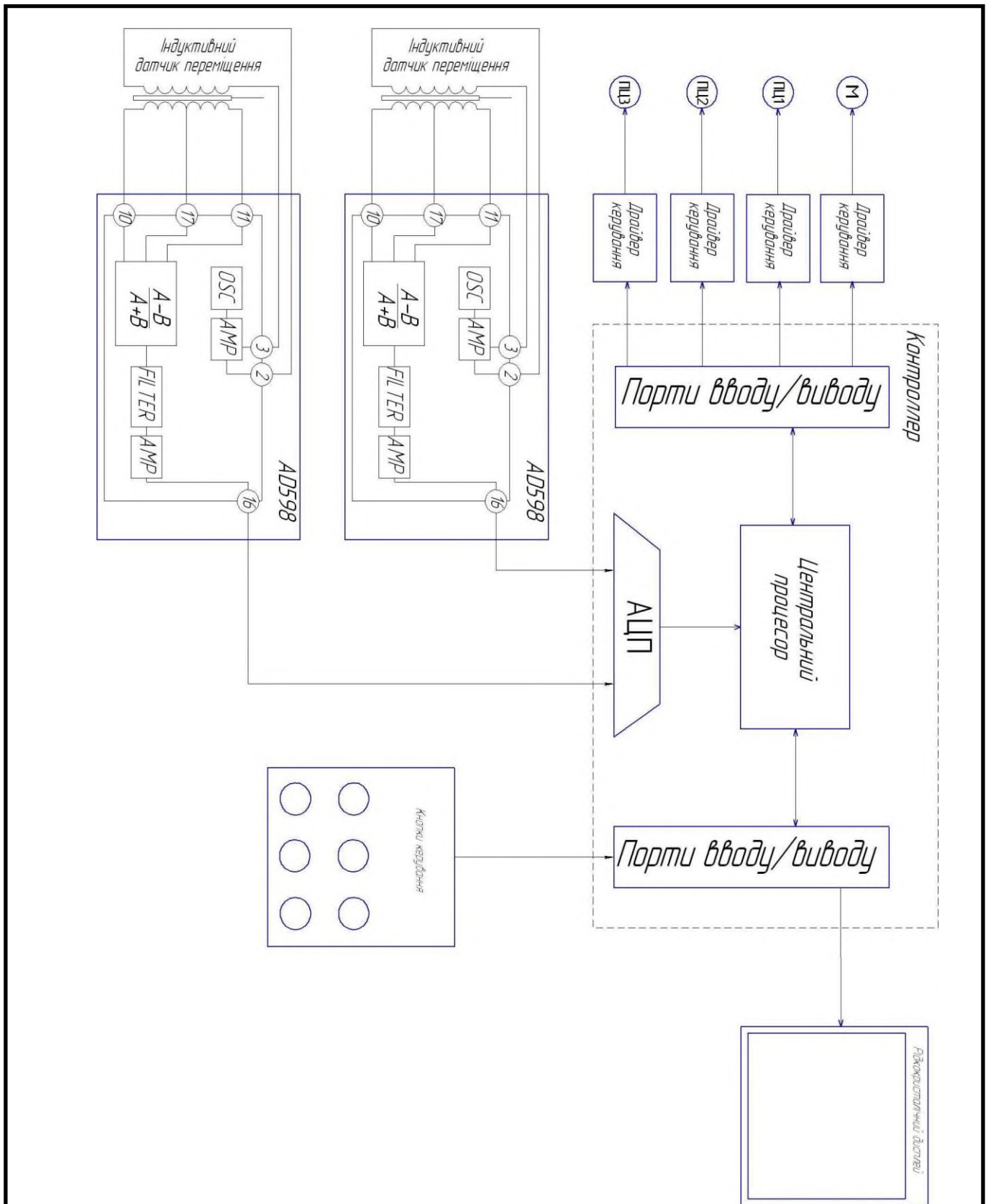


Рисунок 3.1 – Функціональна схема приладу для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

З аналогово-цифрового перетворювача сигнал надходить до центрального процесора, в якому здійснюється перетворення сигналу і вивід значення на рідкокристалічний дисплей. Керування приладом для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь здійснюється за допомогою клавіатури (кнопок керування)

Положенням каретки вибираємо контролююче січення. Потім прокручуємо контрольовану деталь і по вимірювачу лінійних переміщень відмічаємо некруглість контрольованого січення. Одночасно по вимірювачу лінійних переміщень відмічаємо радіальне положення за один оберт контрольованої деталі, що дозволяє визначити першу гармоніку (биття) контрольованого січення.

Результат вимірювання буде вільний від впливу похибок форми контролюючого січення. Переміщенням каретки вздовж осі контрольованої деталі, без повороту деталі можна виміряти форму твірної, а коли повертаючи в кожному січенні на один оберт можна визначити форму осі контролюючої деталі.

3.2 Розробка та розрахунок схеми і включення індуктивного датчика

Фірма Analog Devices пропонує спеціалізовану мікросхему AD598 для перетворення положення осердя ЛДТ в однополярну чи двополярну напругу. Також її можна використати для спряження синусно-косинусних обертових трансформаторів. Оскільки AD598 може генерувати сигнал збудження в широкому діапазоні напруг та частот, то вона є достатньо гнучка, щоб взаємодіяти із багатьма типами ЛДТ. Нечутливість до затухання і зсуву фази дає можливість виносити перетворювач на відстань до 90 м.

Мікросхема AD598 (рисунок 3.2) складається з генератора синусоїдної напруги (OSC) з низьким рівнем гармонічних спотворень та підсилювача (AMP), які забезпечують збудження первинної обмотки, декодера, що визначає відношення різниці вхідних сигналів до їх суми, регульованого фільтра та

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		57

контроль геометричних характеристик є невід'ємною частиною виробничого процесу.

Традиційні методи контролю

До класичних методів вимірювання циліндричних поверхонь належать:

Механічні індикатори та мікрометри – забезпечують високу точність, але потребують ручної роботи та значних витрат часу.

Калібри-пробки та кільця – дозволяють швидко перевірити відповідність розмірів, проте не дають інформації про форму поверхні.

Пневматичні вимірювальні системи – використовують струмінь повітря для визначення діаметра та овальності, забезпечують точність до мікрометрів.

Недоліком традиційних методів є обмежена швидкість та залежність результатів від кваліфікації оператора.

Сучасні автоматизовані системи контролю

З розвитком технологій з'явилися нові засоби вимірювання:

координатно-вимірювальні машини (КВМ) – дозволяють отримати тривимірну модель деталі та визначити відхилення від форми з високою точністю.

оптичні та лазерні сканери – забезпечують безконтактне вимірювання, швидке отримання даних та можливість контролю деталей складної геометрії.

електронні давачі та системи збору даних – інтегруються у виробничі лінії, дозволяють здійснювати контроль у режимі реального часу.

Автоматизовані системи значно зменшують вплив людського фактора, підвищують продуктивність та забезпечують стабільну якість продукції.

Порівняння методів

Традиційні методи – прості у використанні, дешевші, але менш інформативні.

Автоматизовані системи – дорогі, потребують спеціального програмного забезпечення, проте забезпечують комплексний контроль та можливість інтеграції у виробничий процес.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		59

Таким чином, сучасні тенденції розвитку метрології спрямовані на автоматизацію процесів контролю, що відповідає вимогам індустрії 4.0 та забезпечує високу точність і ефективність виробництва.

3.4. Приклади традиційних приладів для контролю циліндричних поверхонь

Мікрометри (Mitutoyo, Insize, Tesa) – використовуються для високоточного вимірювання діаметра циліндричних деталей. Забезпечують точність до 1–2 мкм.

Калібри-пробки та кільця застосовуються для швидкої перевірки відповідності номінальному діаметру. Використовуються у серійному виробництві.

Пневматичні вимірювальні головки (MAHR, Tesa) – дозволяють визначати овальність і конусність за допомогою зміни тиску повітря.

Ці прилади прості у використанні, але не дають повної інформації про форму поверхні.

3.5. Приклади сучасних автоматизованих систем

Координатно-вимірювальні машини (Zeiss CONTURA, Mitutoyo Crysta-Arex S) – забезпечують тривимірне сканування деталі та визначення відхилень від форми з точністю до 1 мкм.

Оптичні сканери (Hexagon Absolute Arm, GOM ATOS) – дозволяють швидко отримати цифрову модель поверхні безконтактним методом.

Лазерні системи контролю (Keyence LJ-V Series) – застосовуються для високошвидкісного вимірювання поверхонь у виробничих лініях.

Автоматизовані пневматичні установки (MAHR Millimes) – інтегруються у виробничий процес для контролю діаметра та овальності в режимі реального часу.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		60

Такі системи забезпечують комплексний контроль, можливість збереження даних та інтеграцію у цифрові виробничі процеси.

3.6 Розробка функціональної схеми автоматизованого вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь

На рис. 3.3 представлено структурну схему автоматизованої системи вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь. Центральним елементом системи є мікроконтролер, який виконує функції збору, обробки та передачі даних між вимірювальними, виконавчими та інтерфейсними пристроями.

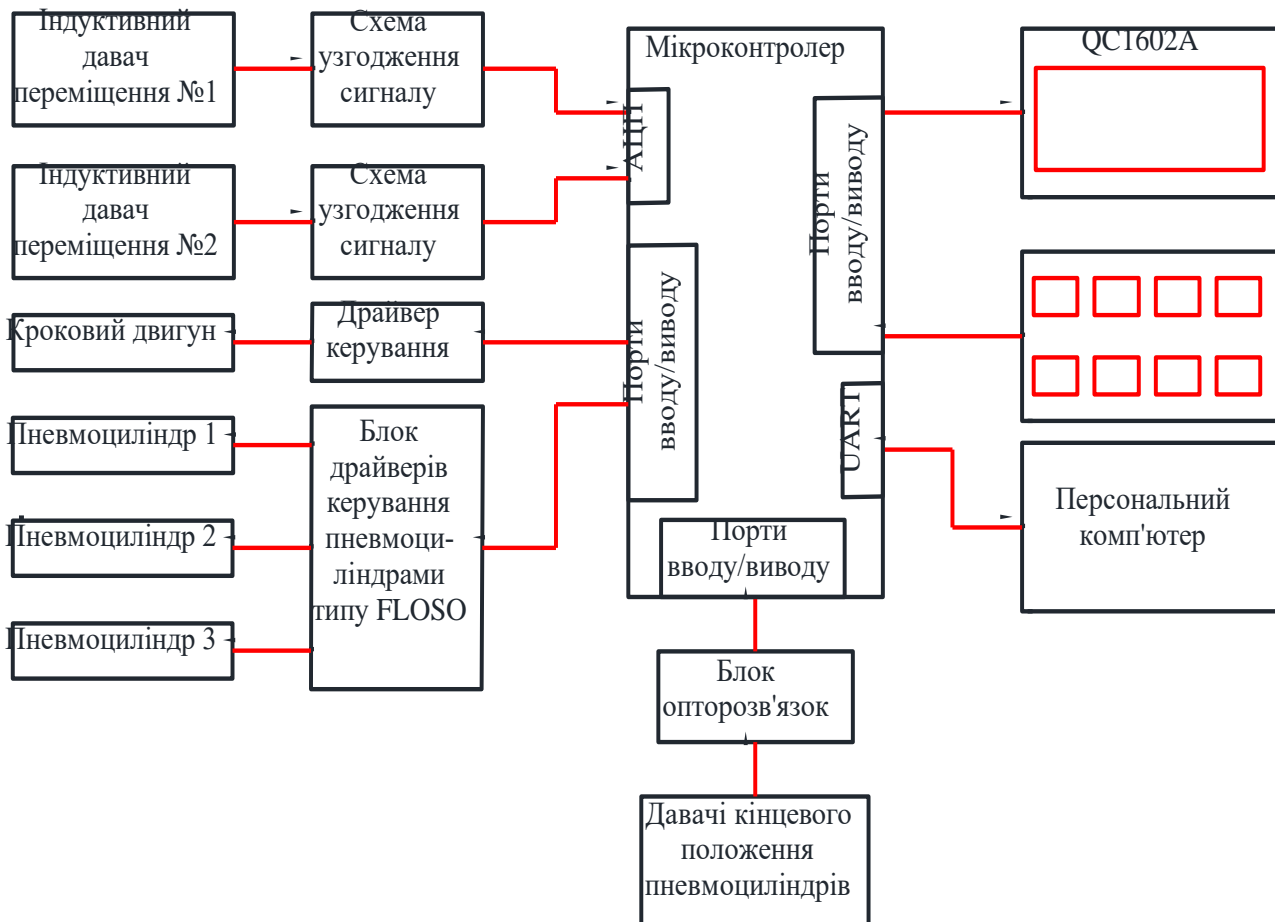


Рисунок 3.3 – Структурна схема приладу для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь

До мікроконтролера підключено такі основні вузли:

Індуктивні давачі переміщення №1 та №2 — забезпечують вимірювання лінійних переміщень або відхилень поверхні деталі від номінальної форми.

Сигнали від давачів надходять на аналогові входи мікроконтролера, де вони перетворюються у цифрову форму для подальшої обробки.

Кроковий двигун — використовується для точного позиціонування вимірювального блока або деталі під час сканування поверхні. Мікроконтролер формує керуючі імпульси, що визначають напрямок і крок переміщення.

Блок пневмоциліндрів — забезпечує механічне переміщення або фіксацію деталі у вимірювальному положенні. Керування здійснюється через електропневматичні клапани, що активуються сигналами мікроконтролера.

Давачі кінцевого положення пневмоциліндрів — контролюють досягнення крайніх точок ходу виконавчих механізмів, забезпечуючи безпечну роботу системи.

Дисплей — відображає поточні параметри вимірювання, повідомлення про стан системи та результати контролю.

Функціональні кнопки — дозволяють оператору запускати процес вимірювання, змінювати режими роботи або виконувати калібрування.

Персональний комп'ютер — використовується для збереження результатів вимірювань, побудови графіків відхилень та аналізу даних. Зв'язок із мікроконтролером здійснюється через послідовний або USB-інтерфейс.

У процесі роботи мікроконтролер послідовно опитує індуктивні давачі, аналізує отримані сигнали та формує керуючі команди для крокового двигуна і пневмоциліндрів. Після завершення циклу вимірювання результати передаються на дисплей і комп'ютер для подальшої обробки. Така структура забезпечує автоматичний режим вимірювання, мінімізує вплив людського фактору та підвищує точність контролю.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		62

Вимірювання проводиться наступним чином. Вимірювана деталь зафіксовується в двох центрах. За допомогою електричного сигналу, що подається з центрального процесора через порти вводу/виводу до драйвера керування і пневмоциліндра 1, висувний центр закріплює вимірювану деталь. Також за допомогою центрального процесора через порти вводу/виводу і драйвер керування посиляється сигнал до пневмоциліндра 2 який підносить вгору поводок і прижимає в шпоночний паз вимірювальну деталь пружиною. Після закріплення вимірюваної деталі з центрального процесора через порти вводу/виводу і драйвер керування посиляє сигнал до пневмоциліндра 3 який приводить в рух зубчасту передачу яка обертає валок навколо своєї осі.

В якості вимірювачів лінійних переміщень використовуємо датчик індуктивний АНИТИМ 35 33. Індуктивний датчик закріплений на каретці яка приводиться в рух кроковим електродвигуном який керується за допомогою драйвера керування. Сигнал від індуктивного датчика прямує до схеми зняття даних яка порівнює ці дані з еталоном прямолінійності який теж закріплений на каретці. Сигнал від якого прямує через схему узгодження до аналогово-цифрового перетворювача.

Принцип роботи

Мікроконтролер опитує індуктивні давачі та кінцеві перемикачі, обробляє сигнали через АЦП та порти вводу/виводу, формує керуючі команди для драйверів двигуна та пневмоциліндрів. відображає інформацію на дисплеї та передає дані на ПК, забезпечує зворотний зв'язок через блок опорозв'язок для стабільної роботи системи.

З аналогово-цифрового перетворювача сигнал надходить до центрального процесора, в якому здійснюється перетворення сигналу і вивід значення на рідкокристалічний дисплей. Керування приладом для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь здійснюється за допомогою клавіатури (кнопок керування)

Положенням каретки вибираємо контролююче січення. Потім прокручуємо контрольовану деталь і по вимірювачу лінійних переміщень

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		63

відмічаємо некрутлість контрольованого січення. Одночасно по вимірювачу лінійних переміщень відмічаємо радіальне положення за один оберт контрольованої деталі, що дозволяє визначити першу гармоніку (биття) контрольованого січення.



Рисунок 3.4 – Функціональна схема приладу для вимірювання відхилення від форми циліндричних поверхонь

Результат вимірювання буде вільний від впливу похибок форми контролюючого січення. Переміщенням каретки вздовж осі контрольованої деталі, без повороту деталі можна виміряти форму твірної, а коли повертаючи в кожному січенні на один оберт можна визначити форму осі контролюючої деталі.

3.6 Розробка та розрахунок схеми і включення давачів

Розробка схеми включення та отримання даних з індуктивного давача переміщення

Переміщення з індуктивного датчика перетворюється в зміну електричного сигналу, який потрапляє на модуль перетворення, величина якого перетворюється в постійну складову напругу. Аналоговий сигнал потрапляє на вхід аналогово-цифрових перетворень (АЦП) де відбувається перетворення в цифровий код і в подальшому опрацьовується центральним процесором. Центральний процесор порівнює дані з еталоном прямолінійності і відображає результат.

LVDТ має три обмотки:

первинна (Excitation) — живиться змінним сигналом (зазвичай 1–10 kHz, 3–10 V AC);

дві вторинні (Output A і Output B) — формують диференціальний сигнал, пропорційний положенню сердечника.

Для мікроконтролера потрібен сигнал постійного струму (DC), тому необхідно виконати демодуляцію.

2. Необхідні компоненти

мікроконтролер (можливі варіанти: STM32, Arduino, ESP32 тощо);

LVDТ-давач;

схема збудження (генератор синусоїди або драйвер LVDТ);

схема демодуляції (випрямлення + фільтрація);

операційний підсилювач (наприклад, LM358 або AD620);

АЦП мікроконтролера (вбудований або зовнішній, наприклад ADS1115).

3. Підключення

первинна обмотка LVDТ → до генератора синусоїдального сигналу (Excitation);

вторинні обмотки (A і B) → до диференціального підсилювача (AD620);

вихід підсилювача → до демодулятора (діод + RC-фільтр);

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		65

вихід демодулятора → до аналогового входу АЦП мікроконтролера;
загальна земля (GND) — спільна для всіх модулів.

4. Опрацювання сигналу в мікроконтролері

зчитування напругу з АЦП;

виконання масштабування до фізичного переміщення (через калібрування);

застосування цифрову фільтрацію (наприклад, ковзне середнє).

виведення результат на дисплей або передавай через UART/USB.

Оскільки в роботі не будемо будувати аналогову схему генератора, суматора сигналів і схеми узгодження, то використано готовий LVDT-контролер (Schaevitz Signal Conditioner) — він видає вже готовий аналоговий сигнал 0–5 V або 4–20 mA, який напругу підключається до АЦП мікроконтролера.

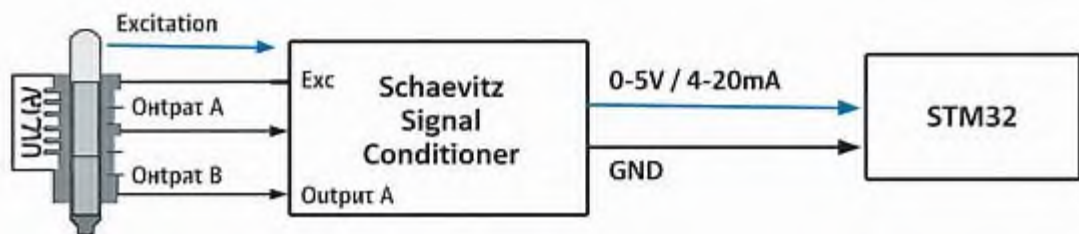


Рисунок 3.5 – Схема підключення індуктивного давача переміщення до мікроконтролера

Особливістю підключення індуктивного давача до мікроконтролера є використання додаткового модуля типу Schaevitz Signal Conditioner, який забезпечує вироблення напруги збудження та виконання обчислення вихідних сигналів і приведення до рівня 0 – 5 В.

LVDT: первинна обмотка (Excitation) та вторинні виходи (A і B);

Schaevitz Signal Conditioner: приймає збудження та сигнали A/B, всередині виконує генерацію, демодуляцію й підсилення;

вихід модуля: готовий аналоговий сигнал (0–5 V або 4–20 mA) + GND;

STM32: отримує цей сигнал на аналоговий вхід АЦП, земля спільна.

Таким чином, мікроконтролер приймає уже «чистий» сигнал положення сердечника, без потреби будувати власний генератор чи демодулятор, що спрощує схему та підвищує надійність схеми зняття даних із давача.



Рисунок 3.6 – Блок-схема зчитування даних з індуктивного давача переміщення

3.7 Розробка схеми включення давачів кінцевого положення

Індуктивний давач кінцевого положення (типу PNP або NPN, 24 В DC) використовується для визначення досягнення механізмом крайньої точки ходу. Щоб забезпечити гальванічну розв'язку між силовою частиною (давачем) і логічною частиною (мікроконтролером), застосовується оптопара — наприклад, PC817, TLP521, або 4N25.

Основні елементи схеми:

Індуктивний давач кінцевого положення – формує сигнал 24 В при спрацюванні.

R1 (2,2–4,7 кΩ) – резистор обмеження струму для світлодіода оптопари.

Оптопара (PC817) – забезпечує гальванічну розв'язку між датчиком і мікроконтролером.

R2 (10 кΩ) – резистор підтягування виходу оптопари до логічного рівня.

Мікроконтролер – приймає сигнал з оптопари на цифровий вхід (наприклад, GPIO).

Живлення 24 В DC – для індуктивного давача.

Живлення 5 В DC – для логічної частини мікроконтролера.

Принцип роботи (рис. 5): коли індуктивний давач спрацьовує, на його виході з'являється напруга 24 В, через резистор R1 струм проходить через світлодіод оптопари, який засвічується у фототранзисторі оптопари виникає струм, що формує логічний сигнал на виході. Мікроконтролер реєструє цей сигнал як спрацювання кінцевого положення. Гальванічна розв'язка забезпечує електробезпеку та захист логічної частини від імпульсів у силовій мережі.

Електричні параметри: вхідна напруга: 24 В DC, струм через світлодіод оптопари: $I = \frac{24\text{ В} - 1,2\text{ В}}{3,3\text{ к}\Omega} \approx 7\text{ мА}$, вихідна напруга: 0–3,3 В (логічний рівень для мікроконтролера), час спрацювання: < 10 мкс.

Переваги використання оптопари: повна гальванічна розв'язка між силовою та логічною частинами, захист мікроконтролера від перенапруги та імпульсів, можливість підключення датчиків з різними типами виходів (PNP/NPN), простота реалізації та висока надійність.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

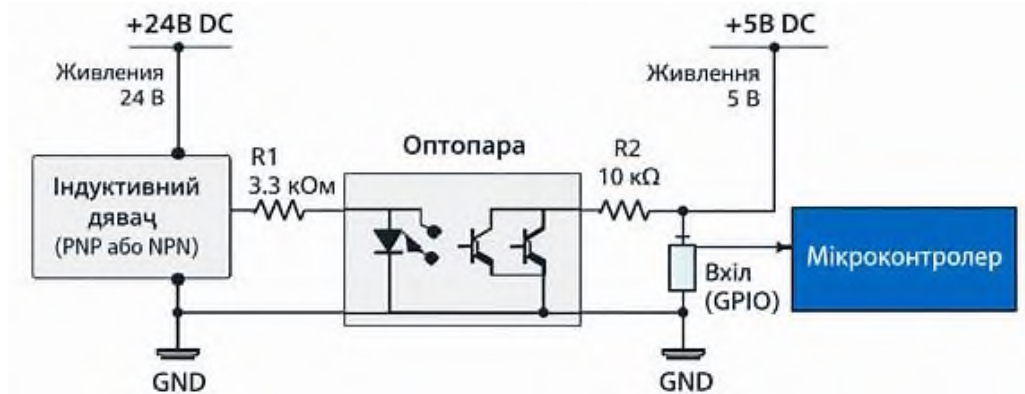


Рисунок 3.7 – Схема підключення давача кінцевого положення до входу мікроконтролера

3.8 Наукові дослідження та математичне моделювання

Математичне моделювання – це метод дослідження процесів або явищ шляхом створення їхніх математичних моделей та їх дослідження.

В основу методу покладено ідентичність форм рівнянь і однозначність співвідношень між змінними в рівняннях оригіналу і моделі, тобто їхню аналогію. Математичні моделі досліджуються, як правило, із допомогою аналогових машин, цифрових обчислюваних машин, комп'ютерів.

Модель – це об'єкт-замінник, створений з метою відтворення при певних умовах суттєвих властивостей об'єкта-оригіналу. Модель може бути представлена фізичним об'єктом, подібним до оригіналу, або описом об'єкта у вигляді математичних формул, тексту, комп'ютерної програми.

Метою моделювання є здобуття, обробка, представлення і використання інформації про об'єкти, які взаємодіють між собою і зовнішнім середовищем; а модель тут виступає як засіб пізнання властивостей і закономірностей поведінки об'єкту. Основним призначенням моделі в задачах управління є прогноз реакції об'єкту на керуючі впливи. Крім того, моделі використовуються для дослідження об'єкта, аналізу його чутливості.

Інструментом дослідження математичної моделі в даній роботі виступає система MatLab.

Програмування в MatLab – це досить простий засіб для роботи з математичними матрицями, малювання функцій, роботи з алгоритмами, створення робочих оболонок з програмами в інших мовах програмування.

MatLab надає велику кількість функції для аналізу даних, які покривають майже всі області математики.

У своїй моделі я буду аналізувати дані вимірювання зняті датчиком індуктивності з мукомольних валків і буду порівнювати їх з ідеальним профілем. А також зображу основні елементарні відхилення форми.

До основних елементарних відхилень форми належать: конусоподібність, бочкоподібність, сідлоподібність, відхилення профілю повздожнього січення.

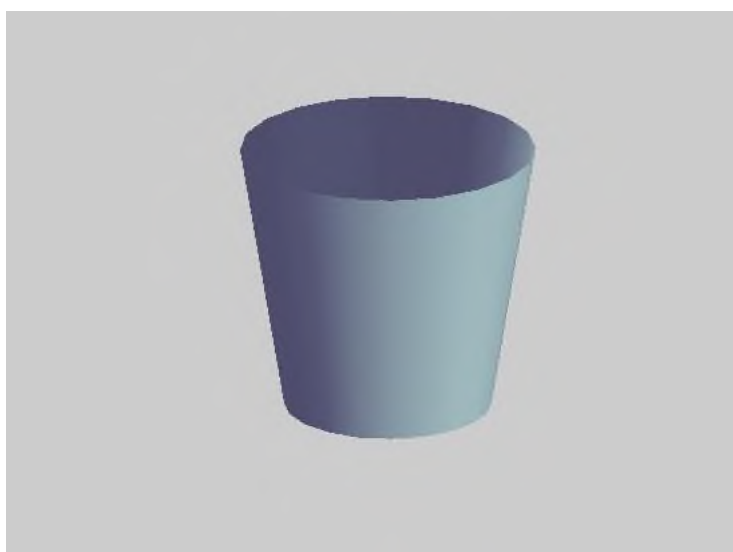


Рисунок 3.8 – Конусоподібність

Конусоподібність визначається як половина різниці між найбільшим і найменшим діаметрами, отриманими вимірами у двох перерізах по краях деталі або заданій довжині.

$$K = \frac{D+d}{2} \quad (3.1)$$

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		70

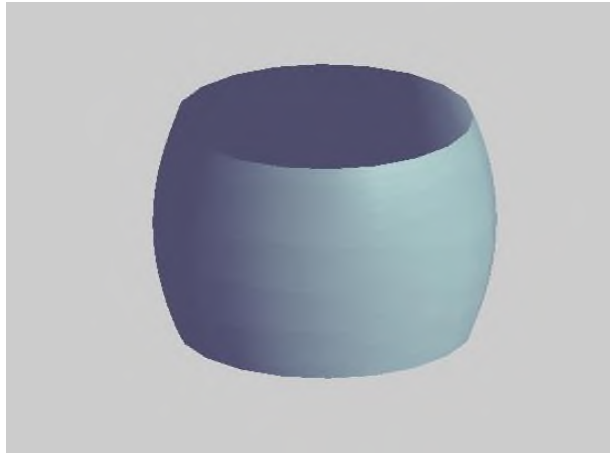


Рисунок 3.9 – Бочкоподібність

Бочкоподібність визначається як половина різниці між найбільшим і найменшим діаметрами, обмірюваними а трьох перерізах – по краях і у середині або на заданій довжині.

$$K = \frac{D-d}{2} \quad (3.2)$$

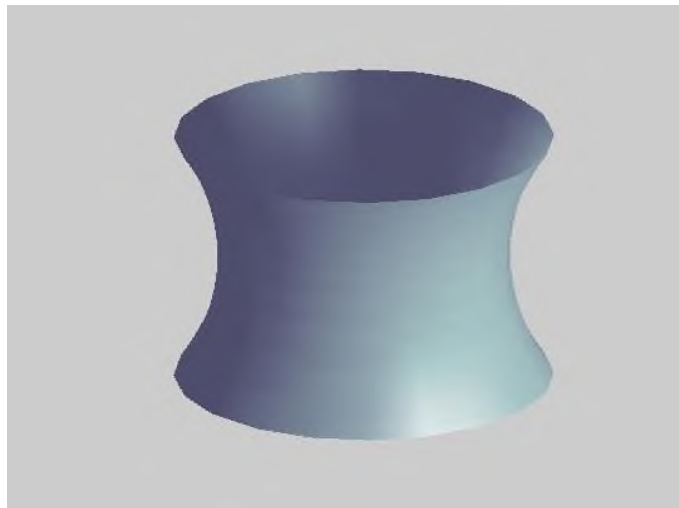


Рисунок 3.10– Сідлоподібність

Сідлоподібність як і бочкоподібність визначається як половина різниці між найбільшим і найменшим діаметрами, обмірюваними а трьох перерізах – по краях і у середині або на заданій довжині.

$$K = \frac{(D_1 - d) + (D_2 - d)}{2} \quad (3.3)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

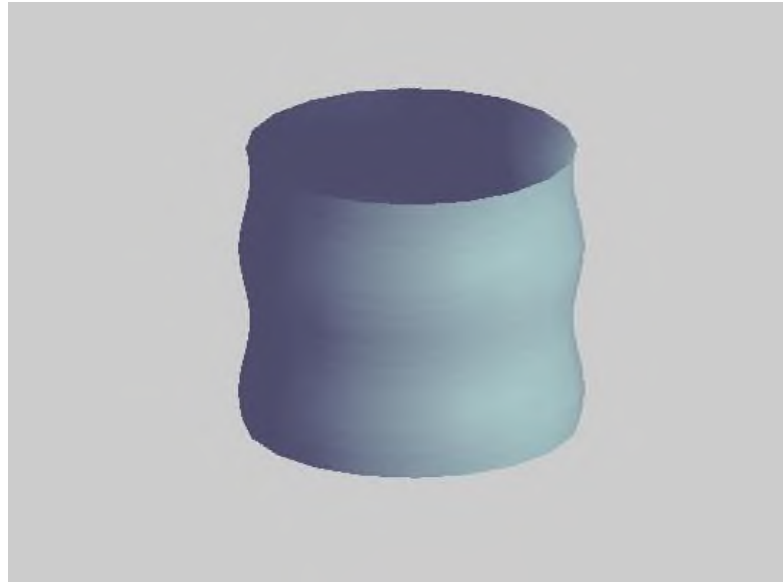


Рисунок 3.11– Відхилення профілю повздожнього січення

Відхилення профілю повздожнього січення – це комплексний показник для повздожнього січення циліндра, який визначається сукупністю відхилень форми цілісного січення від форми, що утворена двома паралельними прямими.

За величину відхилення профілю повздожнього січення приймають найбільше відхилення дійсного профілю від прилягаючих паралельних прямих, максимально збільшених між собою (для вала), і максимально віддалених одна від одної (для отвору).

Якщо під час виробництва валка дотримувалась технологія зборки і технологія виготовлення, то можна досягти ідеального профілю.

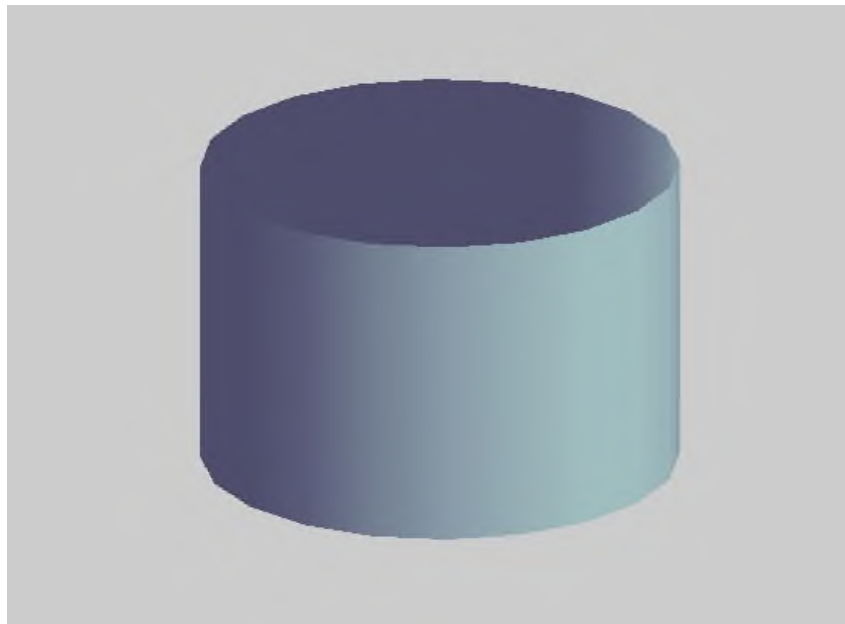


Рисунок 3.12 – Ідеальний профіль

Оцінку основних елементарних відхилень можна здійснити при дослідженні профілю поперечного перерізу, взятого на заданих довжинах контрольованого зразка.

Оцінка профілю поперечного перерізу здійснювалася за аналізом його кругло грами при допомозі програми MatLab, що подано в додатках А.

А зараз проаналізуємо дані вимірювання зняті датчиком індуктивності з мукомольних валків і порівняємо їх з ідеальним профілем.

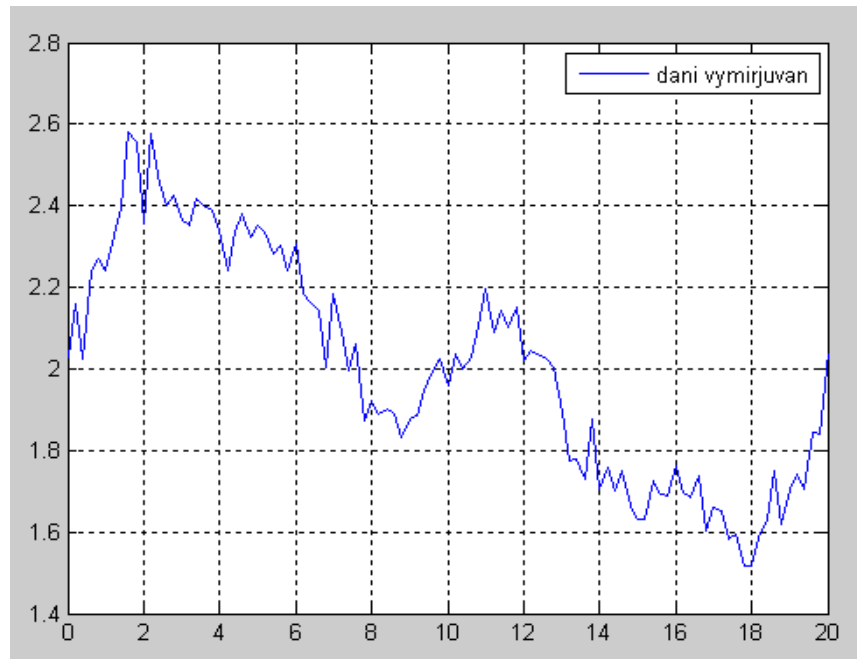


Рисунок 3.13– Дані вимірювання

На рис.3.13 ми можемо побачити графік вимірювання відхилень (мк.) форми мукомольного валка знятий датчиком індуктивності протягом одного повороту валка.

На основі отриманих даних, керуючись розкладом в ряд Фурє кривої на рис.3.14 можна оцінити відхилення від круглості перерізу валка.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

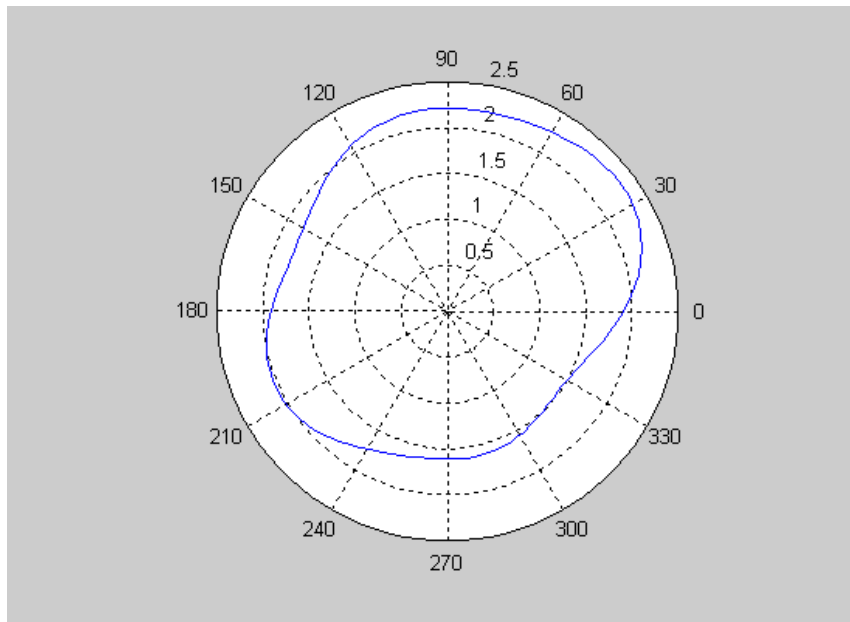


Рисунок 3.14 – Реальний переріз циліндра

На рис.3.14 зображений переріз циліндра отриманий в результаті вимірювання. На його відхилення від круглості впливає як технологія зборки так і технологія виготовлення. Відхилення від круглості - це комплексний показник для поперечного січення циліндра, який визначається сукупністю відхилень форми дійсного січення від форми правильного круга.

За величину некруглості приймають найбільше відхилення дійсного профілю від прилягаючого правильного круга, який має (для вала) найменший можливий діаметр і описаний навколо дійсного січення вала; який має (для отвору) найбільший можливий діаметр і вписаний в дійсне січення отвору.

Оцінка відхилень виконана на основі спектрального аналізу, при допомозі програми MatLab, що подані в додатках Б.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

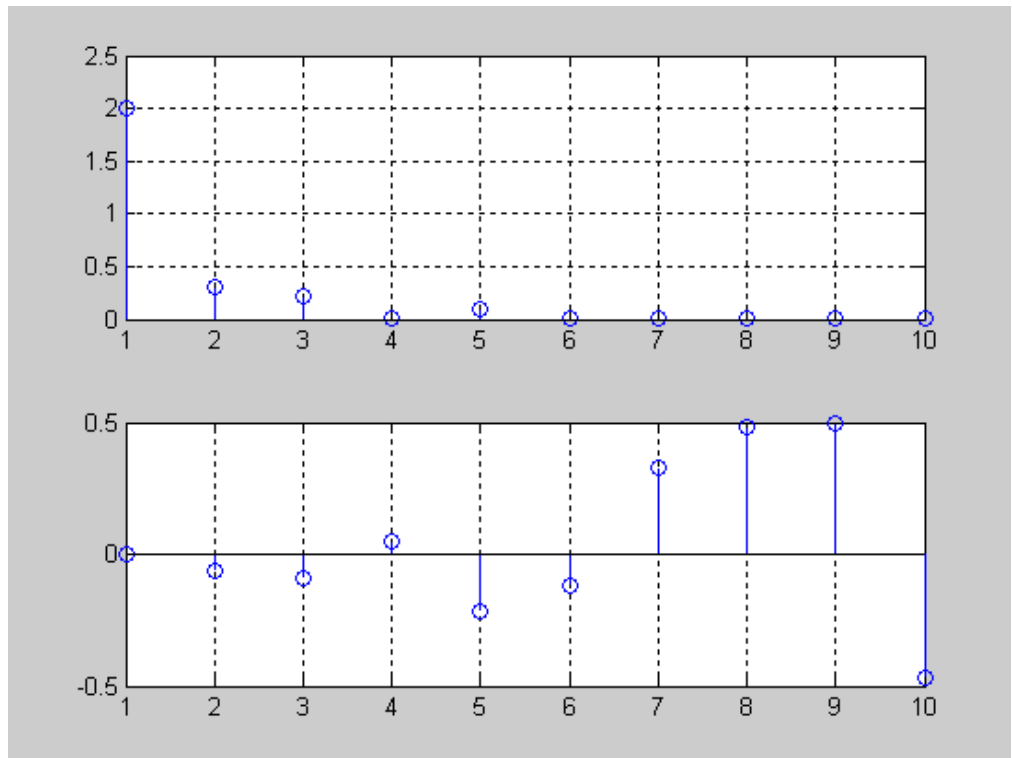


Рисунок 3.15 – Результат спектрального аналізу даних вимірювання

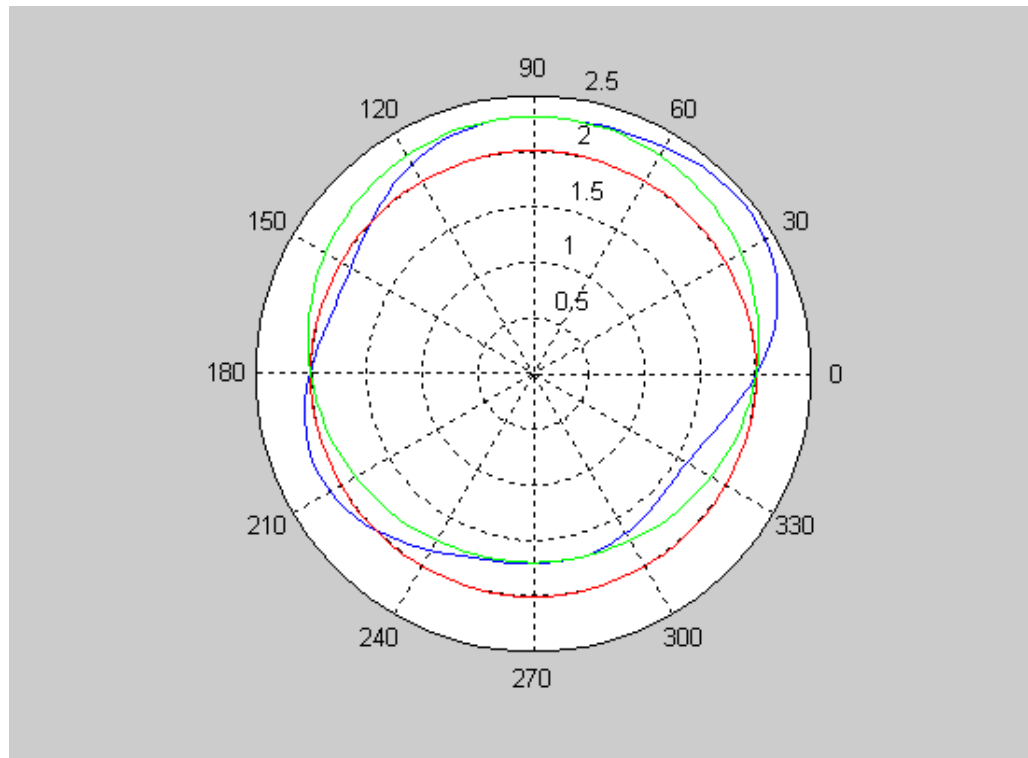


Рисунок 3.16 – Відхилення від заданої форми

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

На даному рис.3.16 ми бачимо 3 основні лінії які в комплексі формують реальний профіль (синя лінія) :

1 червоною виділено ідеальний профіль

2 зеленою зображено зміщення в результаті роз центрування

3 синьою зміщення в результаті відхилення форми

Застосовуючи продемонстрований підхід до аналізу поперечного профілю циліндра на різних довжинах зразка за отриманими даними на основі вище приведених формул (3.1, 3.2, 3.3) можемо знайти коефіцієнти для конусоподібності, сідлоподібності, бочко подібності і т.п. дефектів форми.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		76

4 Охорона праці

Тема кваліфікаційної роботи пов'язана з розробленням пристрою для вимірювання відхилень від форми циліндричних поверхонь деталей машин. Під час експлуатації такого обладнання працівник виконує встановлення та закріплення деталей, налаштування вимірювальної системи, контроль роботи електричного та пневматичного приводів, а також оброблення результатів вимірювань. У процесі виконання цих операцій на працівника можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, тому важливим є забезпечення безпечних умов праці.

Основною метою заходів з охорони праці є запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям під час роботи з розробленим пристроєм.

Механічні небезпечні фактори

До механічних факторів належать: рухомі частини каретки вимірювальної системи; обертання контрольованої деталі; переміщення штоків пневмоциліндрів; можливість защемлення рук між деталлю та затискними елементами; падіння деталі під час її встановлення або демонтажу.

Особливу небезпеку становлять місця контакту оператора із затискним механізмом та обертовими елементами системи.

Електричні фактори

Пристрій містить електродвигун, систему керування та датчики вимірювання, які працюють від електричної мережі.

Основними небезпеками є: ураження електричним струмом; пошкодження ізоляції проводів; коротке замикання; перегрівання електрообладнання; виникнення пожежі внаслідок несправностей електричних кіл.

Пневматичні фактори

У конструкції використовуються пневмоциліндри для затиску та повороту деталі.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		77

Небезпечними факторами можуть бути: раптове спрацьовування пневмоциліндра; розгерметизація пневмосистеми; викид стисненого повітря під високим тиском; руйнування трубопроводів або з'єднань.

Фізичні фактори

Під час роботи можливий вплив: шуму від роботи компресора та приводів; вібрацій від рухомих вузлів; недостатнього або надмірного освітлення робочого місця; електромагнітних полів від електрообладнання.

Психофізіологічні фактори

До цієї групи належать: підвищена концентрація уваги під час проведення точних вимірювань; монотонність операцій; зорове навантаження при роботі з вимірювальними шкалами та комп'ютером.

Для забезпечення безпечної експлуатації приладу передбачаються такі технічні рішення:

Для усунення небезпеки контакту оператора з рухомими елементами необхідно: встановити захисні кожухи над приводами; огородити зони руху каретки; передбачити блокування запуску при відкритих захисних екранах; обмежити швидкість переміщення виконавчих механізмів; встановити кінцеві вимикачі для запобігання виходу каретки за межі робочої зони.

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом необхідно: виконати захисне заземлення металевих частин приладу; астосувати автоматичні вимикачі; використовувати кабелі з подвійною ізоляцією; встановити пристрої захисного відключення; проводити регулярний контроль стану електропроводки.

Опір захисного заземлення повинен відповідати вимогам чинних нормативних документів.

Для підвищення безпеки роботи пневмосистеми необхідно: використовувати сертифіковані пневматичні елементи; встановити редуктор тиску; передбачити аварійний клапан скидання тиску; регулярно перевіряти герметичність трубопроводів; застосовувати гнучкі шланги з необхідним запасом міцності.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		78

Комфортні умови праці забезпечуються підтриманням оптимальних параметрів мікроклімату.

Підтримання зазначених параметрів здійснюється системою вентиляції та опалення.

Проведений аналіз умов праці при експлуатації пристрою для вимірювання відхилень від форми циліндричних поверхонь показав наявність механічних, електричних, пневматичних, фізичних та психофізіологічних небезпечних факторів.

Для забезпечення безпечної роботи запропоновано комплекс технічних та організаційних заходів, які включають захист рухомих частин, заземлення електрообладнання, застосування захисних пристроїв у пневмосистемі, забезпечення нормативних параметрів мікроклімату, освітлення та пожежної безпеки. Реалізація запропонованих заходів дозволить створити безпечні та комфортні умови праці під час експлуатації розробленого вимірювального пристрою.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		79

Висновки

У роботі було розроблено пристрій для вимірювання відхилень від форми циліндричних поверхонь деталей машин. Наведено опис принципу роботи пристрою, а також розроблено та проаналізовано його кінематичну схему, що забезпечує переміщення вимірювального елемента та поворот контрольованої деталі під час проведення вимірювань.

У технологічній частині розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Тримач». Також було спроектовано спеціальне пристосування для виконання операції нарізання паза шириною 2 мм, що дозволяє підвищити точність обробки та продуктивність виготовлення деталі.

У розділі електроніки, мікропроцесорної техніки та систем автоматизованого проектування розроблено функціональну схему приладу, схему проходження сигналів та схему підключення індуктивного датчика. Проведено розрахунок електричної схеми та побудовано графік залежності напруги збудження від опору резистора, що дозволило обґрунтувати вибір елементів електронної частини приладу.

Розділі математичного моделювання продемонстровано підхід до аналізу поперечного профілю циліндра на різних довжинах зразка за отриманими даними на основі вище приведених формул (3.8, 3.9, 3.10) можемо знайти коефіцієнти для конусоподібності, сідлоподібності, бочко подібності і т.п. дефектів форми.

Таким чином, у результаті виконання роботи було розроблено конструкцію приладу для вимірювання відхилень від форми циліндричних поверхонь, обґрунтовано вибір основних конструктивних та електронних елементів, розроблено технологічний процес виготовлення окремих деталей.

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Перелік посилань

1. Muralikrishnan B. *Advanced Methods for Roundness Measurement*. New York : Springer, 2012. 250 p.
2. Ozono S., Kakino Y. Error separation techniques in roundness measurement // *Precision Engineering*. 2005. Vol. 29, No. 2. P. 123–134.
3. Nyberg T., Katsuyuki K. Multi-point measurement methods for cylindrical forms // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 2010. Vol. 59, No. 1. P. 517–520.
4. Ma Yu-zhen, Duan B. Capacitive sensor-based roundness measurement // *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 12. Article 3819.
5. Liang J. Laser scanning methods for surface profile measurement // *Optics and Lasers in Engineering*. 2018. Vol. 104. P. 1–10.
6. Lei X. Least squares methods in form error evaluation // *Measurement*. 2016. Vol. 92. P. 345–352.
7. Дзюра В. О., Кривий П. О., Тимошенко Н. В., Апостол Ю. О. Контроль параметрів поверхонь деталей машин. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2018. 200 с.
8. Назаренко Л. А. Основи метрології та вимірювальної техніки. Харків : ХНУРЕ, 2015. 320 с.
9. Коваль А. О., Коваль О. А., Медведовська Я. С. Оцінювання невизначеності вимірювань // *Український метрологічний журнал*. 2020. № 2. С. 45–52.
10. Бідніченко О. Г. Геометричне моделювання поверхонь. Київ : КНУБА, 2019. 280 с.
11. Novorushchenko, Tetiana, Dubynyak, Taras, Dzhydzhora, Liliana, Yuryk, Nataliia, Yuryk, Yuriy Computer modeling of the process of shape deviations parameters control and analysis CEUR Workshop Proceedings Open source preview, 2025, 4057, pp. 301–311

					КБР 037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		81

ДОДАТКИ

Виконав

Юрик Ю.І.

Керівник

Дубиняк Т.С.

Нормоконтроль

Наконечний Ю.І.

Завідувач кафедри

Паламар М.І.

Рецензент

Дедів Л.Є.

```
clear all
t(1:30)=2;
[X,Y,Z]=cylinder(t);
%mesh(X,Y,Z)
surfl(X,Y,Z)
colormap bone
shading interp
axis off
t=[2 2.05 2.1 2.15 2.2 2.25 2.3 2.35 2.4 2.45 2.5 2.55 2.6 2.65 2.7 2.75 2.8 2.85];
[X,Y,Z]=cylinder(t);
%mesh(X,Y,Z)
figure,surfl(X,Y,Z)
colormap bone
shading interp
axis off

l=[pi/3:.01:2*pi/3];
t=.1*sin(l);
[X,Y,Z]=cylinder(t);
%figure,mesh(X,Y,Z)
figure,surfl(X,Y,Z)
colormap bone
shading interp
axis off

l=[-3:.1:3];
t=1.5+.05*l.^2;
```

```
[X,Y,Z]=cylinder(t);
```

```
%mesh(X,Y,Z)
```

```
figure,surfl(X,Y,Z)
```

```
colormap bone
```

```
shading interp
```

```
axis off
```

```
l=[-3:.1:3];
```

```
t=3+.1*sin(2*l);
```

```
[X,Y,Z]=cylinder(t);
```

```
%mesh(X,Y,Z)
```

```
figure,surfl(X,Y,Z)
```

```
colormap bone
```

```
shading interp
```

```
axis off
```

```
dt=.2;
tm=20;
t=[0:dt:tm];
y=2+.3*sin((2*pi/tm)*t)+.2*sin((4*pi/tm)*t)+.1*sin((8*pi/tm)*t);
k=length(t);
for i=1:k
    y(i)=y(i)+.05*randn(1);
end
%y=[1.1 1 1.03 ]
plot(t,y)
grid
legend('dani vymirjuvan')
figure
phi=[0:pi/50:2*pi];
lphi=length(phi)
r=2+.3*sin(phi)+.2*sin(2*phi)+.1*sin(4*phi)+.1*randn(1);
polar(phi,r);
figure
fmax=1/dt;
df=1/tm;
f=0:df:fmax;
x=fft(y);
%stem(f,abs(x))
f1=-fmax/2:df:fmax/2;
xp=fftshift(x);
l=length(x)
xp1(1:10)=xp(51:60);
amp(1:10)=abs(xp(51:60))
amp=2*amp/l;
```

```

amp(1)=amp(1)/2;
subplot(2,1,1)
stem(amp);grid

%axis([0,10,0,1])
dixp=real(xp1);
uxp=imag(xp1);
phxp=atan(xp1);
%stem(f1,dixp);grid
subplot(2,1,2)
stem(phxp);grid
%axis([0,10,-1,2])
r=2+.3*sin(phi)+.2*sin(2*phi)+.1*sin(4*phi)+.1*randn(1);
figure,polar(phi,r);
hold on
r0(1:length(phi))=amp(1);
r1=amp(1)+amp(2)*sin(phi);
polar(phi,r0,'r')
hold on
polar(phi,r1,'g')

```