

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Пристрій для вимірювання відхилення від
співвісності циліндричної поверхні і конічної різьби

Виконав: студент 4 курсу, групи РВ

спеціальності 152 "Метрологія та інформаційно

вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Гладкий Р.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Наконечний Ю.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Наконечний Ю.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Паламар М.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра приладів і контрольно-вимірювальних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Паламар М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Гладкий Роман Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Пристрій для вимірювання відхилення від співвісності циліндричної поверхні і конічної різьби

Керівник роботи Наконечний Ю.І. ст викл., 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 технологічне креслення та технічна документація

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 робота бакалавра присвячена розробленню пристрою для вимірювання відхилення від співвісності циліндричної поверхні та конічної різьби бурових труб типу В/24.

У роботі проведено аналіз існуючих методів і засобів контролю співвісності різьбових з'єднань труб.

Як базовий аналог розглянуто пристрій, захищений авторським свідоцтвом АС 162081, призначений для вимірювання неспіввісності різьбових з'єднань.

Метою роботи є підвищення точності та інформативності контролю шляхом одночасного вимірювання кутової та лінійної складових неспіввісності.

Для досягнення поставленої мети розроблено конструкцію пристрою, що містить оправку з поворотною обоймою, вимірювальний вузол у вигляді коромисла зі стрілкою, систему напрямних стержнів з повзуном, корпус із втулкою на опорах ковзання та два взаємно перпендикулярно розташовані індикатори. Запропонована конструкція забезпечує визначення кутового відхилення осей з'єднаних елементів та радіального биття контрольованої поверхні, що дозволяє отримати більш повну інформацію про стан різьбового з'єднання. Використання двох індикаторів забезпечує підвищення точності вимірювання та достовірності результатів контролю.

У роботі виконано аналіз конструкції пристрою, розглянуто принцип його роботи, проведено необхідні розрахунки та розроблено конструкторську документацію.

Результати роботи можуть бути використані на підприємствах машинобудівної та нафтогазової галузей для контролю якості різьбових з'єднань бурових труб, підвищення надійності їх експлуатації та зниження ризику виникнення аварійних ситуацій.

Ключові слова: СПІВВІСНІСТЬ, НЕСПІВВІСНІСТЬ, БУРОВА ТРУБА, КОНІЧНА РІЗЬБА, ЦИЛІНДРИЧНА ПОВЕРХНЯ, РАДІАЛЬНЕ БИТТЯ, ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, ІНДИКАТОР ГОДИННИКОВОГО ТИПУ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, РІЗЬБОВЕ З'ЄДНАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП

1 Загально-технічна частина

1.1 Аналіз об'єкту вимірювання

1.2 Огляд методів контролю заданих параметрів

2 Конструкторсько-технологічна частина

2.1 Вибір і порівняльний аналіз варіантів вирішення задачі

2.2 . Опис кінематичної схеми виробу

2.3 Аналіз похибки вимірювання

2.4 Опис роботи приладу

2.5 Вибір електродвигуна

2.6 Розрахунок планетарного одноступеневого мотор-редуктора

2.7 Розрахунок пасової передачі

2.8 Розрахунок фрикційної передачі

2.9 Розрахунок пружини стиску

2.10 Розрахунок плоских пружин

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз задачі автоматизації вимірювання

3.2 Функціональна схема пристрою

3.3 Принципова електрична схема

3.4 Алгоритм роботи вимірювальної системи

3.5 Обробка результатів вимірювання та математичне моделювання

3.6 Калібрування та забезпечення точності

3.7 Наукові дослідження та математичне моделювання

4 Охорона праці

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВСТУП

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на тему Пристрій для вимірювання відхилення від співвісності циліндричної поверхні і конічної різьби. У якості деталей, що контролюються вибрано бурові труби В/24. Винахід відноситься до машинобудування, зокрема до засобів вимірювання неспіввісності різьбових з'єднань труб. Аналогом є запатентований пристрій АС 162081

Метою винаходу є розширення інформативності і підвищення точності вимірювання шляхом вимірювання як кутової, так і лінійної складової неспіввісності. Це досягається тим, що пристрій, що містить оправку з поворотною навколо неї обоймою і вимірювальний вузол, виконаний у вигляді коромисла зі стрілкою, оснащені двома стержнями, встановленими на обоймі співвісно з нею, повзуном, встановленим на них з можливістю переміщення, закріпленим на ньому корпусом з втулкою, встановленою в ньому на опорах ковзання, на яку кріпиться коромисло і двома встановленими на корпусі взаємно перпендикулярними індикаторами, що взаємодіють при вимірюванні зі стрілкою і втулкою і реєструють відповідно кутову і лінійну (радіальне биття) складові неспіввісності вимірюваних труб.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1 Загально-технічна частина

1.1 Аналіз об'єкту вимірювання

Аналогом розроблюваного пристрою є вимірювальний прилад для контролю співвісності муфти труби за патентом CN203323687U. Прилад призначений для контролю співвісності різьбових поверхонь у з'єднувальних елементах труб сортаменту.

Конструкція містить корпус, нерухомі та рухомі вимірювальні щупи, рукоятку, індикаторний вузол і механізм переміщення рухомого щупа. Під час вимірювання щупи встановлюються у западини різьби, а відхилення передається на індикатор, за показами якого визначають величину неспіввісності.

Недоліком такого аналога є те, що він орієнтований переважно на контроль внутрішньої різьби муфти і не забезпечує одночасного визначення відхилення співвісності циліндричної поверхні та конічної різьби замка труби.

Також аналогом може бути CN203337078U — Apparatus for measuring screw thread coaxiality by means of rotation method “Пристрій для вимірювання співвісності різьби методом обертання”.

Він теж дуже близький, бо використовує метод обертання, конічну втулку, оправку/сердечник, підшипниковий вузол і індикатор.

У патенті прямо сказано, що пристрій призначений для вимірювання співвісності різьби, а результат зчитується через індикаторний вузол.

Також відомий пристрій для вимірювання співвісності різьби методом обертання за патентом CN203337078U.

Пристрій містить основу, опору, з'єднувальну конічну втулку, оправку, підшипникову втулку, контрольний стержень і індикатор.

Вимірювання виконується під час повороту контрольованого елемента, а відхилення фіксується за показами індикатора. Недоліком пристрою є обмеженість його застосування для комплексного контролю бурової труби,

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

оскільки він не передбачає одночасного визначення кутової та лінійної складових неспіввісності циліндричної поверхні відносно конічної різьби.

Патент саме по довгих трубах із конічною різьбою

CN106403756A / CN106403756B — Long-pipe taper thread measurement device, taper plug gauge clamp and taper ring gauge clamp “Пристрій для вимірювання конічної різьби довгих труб”.

Цей патент корисний тим, що прямо говорить про довгі бурові труби, конічну різьбу, опорну платформу, вимірювальний механізм і затискачі для конічної різьби. Він більше про комплексне вимірювання

Я б основним аналогом поставив: CN203323687U — Measuring instrument for coaxiality of coupling of petroleum pipe

Але є додаткові аналоги:

CN203337078U — пристрій для вимірювання співвісності різьби методом обертання; CN106403756A / CN106403756B — пристрій для вимірювання

Як закордонний аналог розглянуто вимірювальний прилад для контролю співвісності муфти нафтової труби за патентом CN203323687U, який призначений для визначення відхилення співвісності різьбових поверхонь у трубних з'єднаннях нафтового сортаменту.

Пристрій містить корпус, нерухомі та рухомі щупи, рукоятку й індикаторний вузол. На відміну від аналога, розроблюваний пристрій призначений для контролю відхилення від співвісності циліндричної поверхні та конічної різьби, а також дозволяє визначати лінійну і кутову складові неспіввісності.

Винахід відноситься до машинобудування, зокрема до засобів контролю різьб. Мета винаходу — розширення технологічних можливостей шляхом забезпечення вимірювання неспіввісності різьби замка, що приварено з тілом бурової труби.

Бурові труби з привареними замками мають такі зовнішні діаметри: 50; 60,3; 114,3; 127,0. Довжина труб нафтового сортаменту — 11,5 м. Трубу

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

виготовляють прокатом, після чого до неї приварюють замки. Замок на кінці має конічну різьбу.

В конічних різьбах в результаті осьового переміщення створюється розклинюючий ефект, що забезпечує велику герметичність і в значній мірі компенсує можливі похибки нарізки. Конічна різьба, внаслідок природнього упора, сприймаючого навантаження по всій довжині конуса, може передавати значні крутні моменти. Для збірки і розборки бурильної колони в процесі спуско-підйомних операцій потребується значно менше часу, ніж при використанні циліндричних різьб, так як число оборотів, потрібне на закручування конічної різьби, визначається в основному не кількістю витків, а її конусністю.

При нарізанні конічної різьби на замку і при зварюванні замка і тіла труби виникає неспіввісність різьби і тіла труби, що під час спуско-підйомних операцій приводить до виникнення паразитних сил, що намагаються роз'єднати труби, які з'єднані між собою.

Даний прилад застосовується: у машинобудуванні; у метрології; для контролю внутрішніх профілів; при перевірці точності отворів і валів; у приладобудуванні.

1.2 Огляд методів контролю заданих параметрів

Параметри, які контролює пристрій:

а) відхилення від співвісності відносно базової осі — найбільша відстань Δ між віссю розглядуваної поверхні обертання і базовою віссю на довжині нормуючої ділянки (див. рис. 1.2, а)

б) повне радіальне биття циліндричної поверхні відносно базової осі — різниця Δ найбільшої і найменшої відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі по всій довжині нормуючої ділянки. Воно є результатом спільного прояву відхилення від циліндричності поверхні і відхилення від її співвісності відносно базової осі (див. рис. 1.1, б).

Методи контролю цих параметрів зображені на рис. 1.2.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

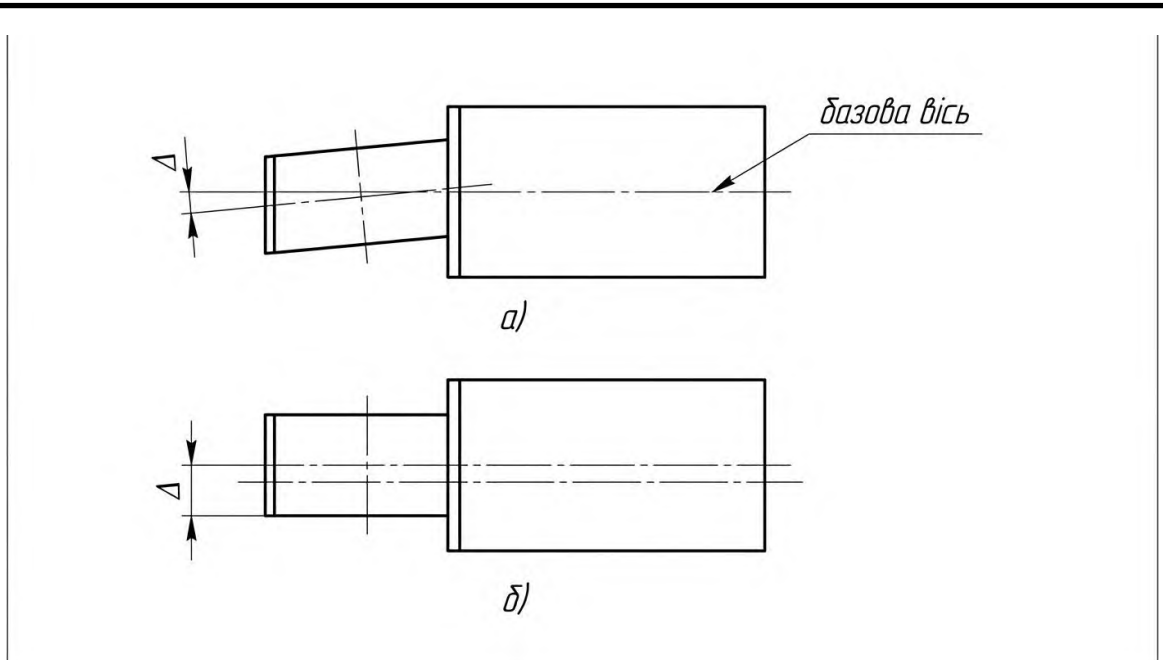
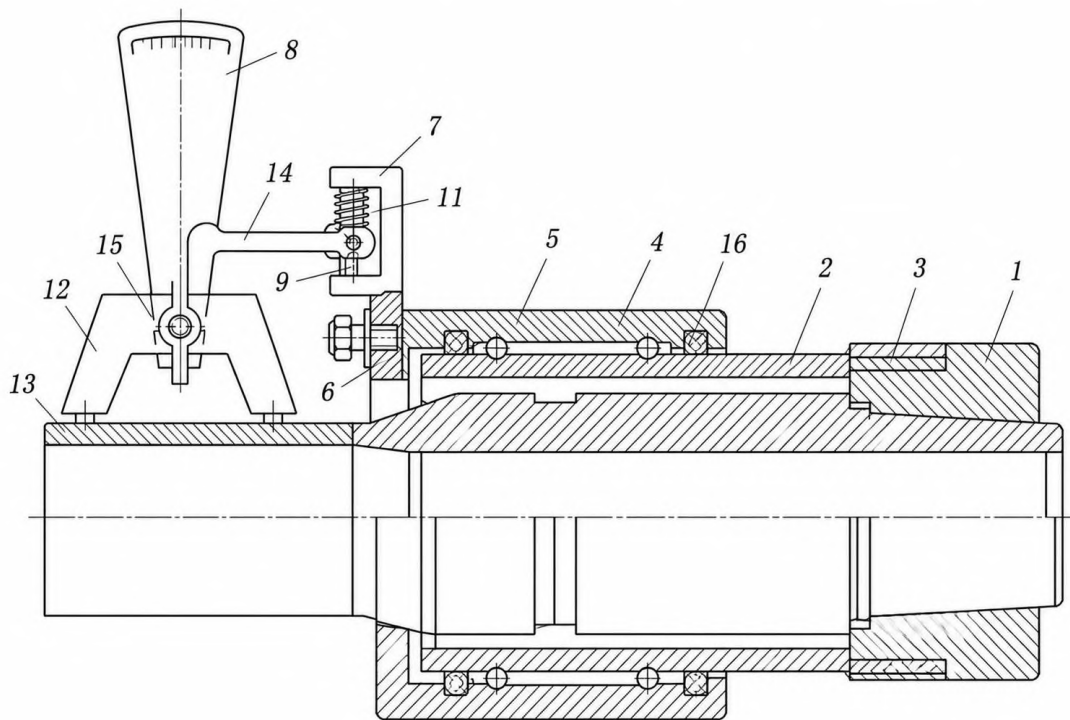


Рисунок 1.1 - Відхилення від співвісності відносно базової осі



1 Корпус, 2 Шток, 3 Напрямна втулка, 4 Корпус підшипникового вузла, 5 Підшипники, 6 Кріпильний елемент, 7 Сійка механізму, 8 Індикаторна шкала, 9 Штовхач, 10 Вісь шарніра, 11 пружина, 12 опорна призма, 13 котрольована деталь, 14 важіль, 15 вимірювальний щуп, 16 ущільнення або фіксатор

Рисунок 1.3 Конструктивна схема пристрою для вимірювання неспіввісності різьби замка з тілом бурильної труби.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 032.00.00.000 ПЗ

Арк.

10

Принцип роботи приладу

Пристрій містить оправку, що складається зі згвинчених між собою змінної втулки 1 та стакану 2, з'єднаних за допомогою внутрішньої конічної різьби з замком 3. На оправці розміщена обойма 4 з можливістю обертання на опорах 5, в одному з її пазів за допомогою гвинта 6 закріплена стійка 7, на якій установлений кутомір 8, що має шкалу з можливістю радіального переміщення відносно оправки вздовж осі 9.

Кутомір обмежується від обертального руху навколо осі 9 наявністю гвинта 10, що входить своїм кінцем у шпонковий паз осі 9, і підтискається пружиною 11 стиску для забезпечення постійного контакту наконечників коромисла 12 з тілом контрольованої труби 13.

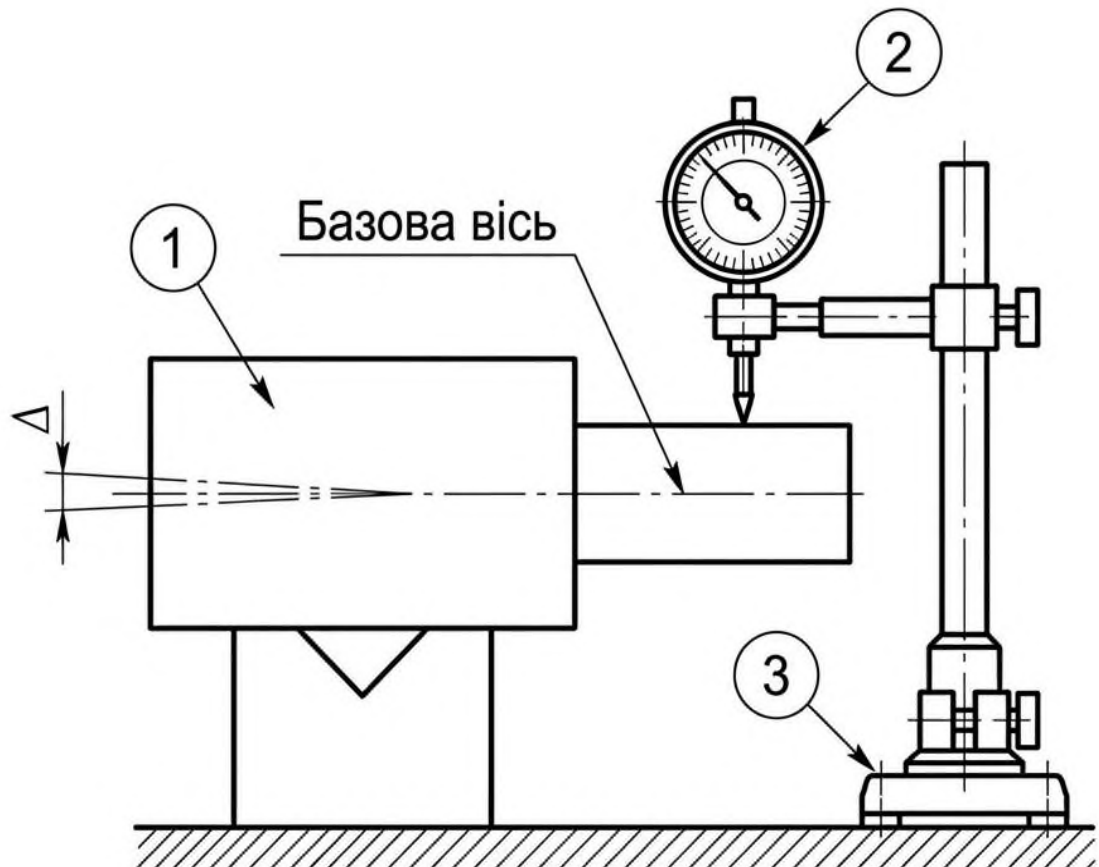
Нерухомо з коромислом 12 до кутоміра 8 за допомогою гвинта 15 прикріплена стрілка 14. Опора кочення пристрою виконана маслонаповненою та ущільнюється кільцями 16.

Монтажний вузол, що складається зі змінної втулки 1 зі стаканом 2, обойми 4 з опорами 5 кочення та ущільнювальними кільцями 16, згвинчується з замком 3. Після цього в обойму 4, що має паз типу «ластівчин хвіст», гвинтом 6 закріплюють вимірювальний вузол (стійка 7, кутомір 8, вісь 9, гвинт 10, пружина 11, стрілка 14 з коромислом 12 і гвинт 15).

Повертаючи вимірювальний вузол з обоймою 4 навколо стакану 2, знаходять таке положення контакту коромисла 12 з тілом труби 13, щоб стрілка 14 показувала «0» на шкалі кутоміра 8.

Після цього, повертаючи вимірювальний вузол на 90° навколо труби в будь-якому напрямку, за максимальним відхиленням стрілки визначають величину неспіввісності замка відносно осі труби.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



1 — деталь; 2 — перетворювач; 3 — призма і радіального биття

Рисунок 1.2 — Схема контролю неспіввісності

Принцип роботи пристрою

Контрольована деталь 1 встановлюється на опорах таким чином, щоб її базова вісь була паралельною до поверхні плити. Індикатор годинникового типу 2, закріплений на штативі 3, підводиться вимірювальним наконечником до поверхні контрольованої ділянки деталі.

Під час обертання деталі навколо її осі або переміщення індикатора вздовж поверхні вимірювальний наконечник відстежує зміну положення поверхні відносно базової осі. У результаті відхилення форми, конусності або неспіввісності викликають переміщення наконечника індикатора, яке передається на стрілочний механізм приладу.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

За величиною відхилення показів індикатора визначають: радіальне биття поверхні; відхилення від співвісності; конусність деталі; похибку форми циліндричної поверхні.

Різниця між максимальним і мінімальним показами індикатора характеризує величину відхилення контрольованої поверхні від номінального положення відносно базової осі.

Отримані результати порівнюють з допустимими значеннями, наведеними в технічній документації на деталь.

Формулою винаходу є пристрій для вимірювання неспіввісності, що містить оправку з поворотною навколо неї обоймою та вимірювальний вузол, який відрізняється тим, що, з метою розширення технологічних можливостей шляхом забезпечення вимірювання неспіввісності різьби замка з тілом бурильної труби, вимірювальний вузол виконаний у вигляді коромисла зі стрілкою, закріпленої на осі хитання коромисла, встановленого на поворотній обоймі з можливістю його радіального регулювання

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		13

2 Конструкторсько-технологічна частина

2.1 Вибір і порівняльний аналіз варіантів вирішення задачі

Порівнюючи конструкції даного виробу з його прототипом (АС 1409857, кл. G01 В 5/24, 1987), приходимо до висновку, що даний виріб має ряд переваг над своїм прототипом. Зокрема тим, що пристрій міряє неспіввісність і повне радіальне биття, а його прототип міряв лише неспіввісність.

З метою розширення інформативності і підвищення точності вимірювання пристрій має два стержня, встановлених на обоймі співвісно з нею, встановлений на стержнях з можливістю поздовжнього переміщення повзун, закріплений на повзуні корпус з втулкою, яка розміщена в ньому з можливістю переміщення на опорах ковзання в напрямку, перпендикулярному вісям стержнів, і призначена для кріплення на ній коромисла зі стрілкою і два встановлених в корпусі індуктивних перетворювачі. Порівняно з прототипом, в пристрої більш продуманіше була розроблена обойма, яка по суті є спеціальним підшипником.

2.2 . Опис кінематичної схеми виробу

Кроковий двигун 1 передає крутний момент через планетарний одноступеневий редуктор 2, пасову передачу 3 на привідний фрикційний ролик 4. Бурова труба встановлена на роликові опори 4, 5. На замок бурової труби за допомогою різьби встановлена оправка 13. На оправці розміщена обойма з направляючими стержнями 12 з можливістю обертання в опорах кочення. На направляючих стержнях розміщений повзун 11 з можливістю осьового переміщення. На повзуні закріплений корпус 10. Всередині корпусу встановлена втулка 8, в нижньому пазу якої за допомогою вісі 7 встановлений вимірювальний вузол — трьохплечовий ричаг-коромисло 6 з стрілкою. Один з індуктивних перетворювачів 9 закріплений вертикально в корпусі, а інший — горизонтально в втулці.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		14

2.3 Аналіз похибки вимірювання

Для знаходження загальної похибки пристрою для вимірювання неспіввісності потрібно визначити складові похибки, які впливають на результат вимірювання.

Серед таких похибок є похибка індуктивного перетворювача. Індуктивний перетворювач 75502 належить до стандартних виробів, відповідно його похибка, яка дана в технічній характеристиці, становить 4 мкм.

Також похибкою, яка впливає на точнісні характеристики пристрою, є похибка виготовлення відстаней між центром отвора на втулці під вісь і центром різьбового отвора під зажим, яка залежить від квалітету точності на розмір. Так як цю відстань ми виготовляємо по п'ятому квалітету точності, то похибка рівна:

$$\Delta_0 = \Delta_p \cdot \operatorname{tg} 0,1^\circ$$

де Δ_p — похибка розміру;

$$\Delta_0 = 15 \cdot \operatorname{tg} 0,1^\circ = 0,026 \text{ мкм.}$$

Ще одною похибкою, яка впливатиме на точнісні характеристики пристрою, є похибка на виготовлення відстані між центрами отворів в коромислі. Так як ця відстань дорівнює 70 мм і виготовлена по п'ятому квалітету, то вона теж буде рівна 0,026 мкм.

Сумарна похибка пристрою буде рівна:

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta_i$$

Де Δ_i — складові похибки;

$$\Delta = 2\Delta_0 + \Delta_{\text{нор}} + \Delta_H$$

де Δ_H — похибки, які важко врахувати.

З конструктивних міркувань приймаємо $\Delta_H = 5$ мкм.

$$\Delta = 2 \cdot 0,026 + 4 + 5 \approx 10 \text{ мкм}$$

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2.4 Опис роботи приладу

Пристрій працює наступним чином. Ставимо трубу на фрикційні роликові опори. Вмикаємо двигун. Труба починає помалу повертатися. Тоді беремо монтажний вузол, який складається зі змінної втулки 1 зі стаканом, обойми, а також із закріпленими стержнями, і згвинчуємо із замком контрольованої труби. На направляючі стержні встановлюють і закріплюють вимірювальний вузол.

Посилаємо визначену кількість імпульсів на кроковий двигун. Він передає рух через редуктор і пасову передачу на привідний ролик, який, у свою чергу, приводить до обертання труби. Обертання труби дискретне. В момент зупинки вмикаються індуктивні перетворювачі, які міряють кутову і лінійну неспіввісність. Отримані дані вимірювання надходять для подальшої обробки в систему обробки інформації.

2.5 Вибір електродвигуна

Бурова труба нафтового сортамента має довжину 11,5 м. Маса одного метра гладкої частини рівна:

- для $\varnothing 60,3$ — 6,94 кг;
- для $\varnothing 50$ — 6,04 кг.

Маса одного метра труби з врахуванням висадки рівна:

- для $\varnothing 60,3$ — 8,5 кг;
- для $\varnothing 50$ — 7,5 кг.

Маса замків:

- 3-50 — 8,6 кг;
- 3Н-80 — 12 кг.

Загальна маса труби:

$$m_{\text{заг}} = (m_{\text{заг}} \cdot m_{\text{вис}} + l_{\text{вис}}) \cdot 2 + m_{\text{гл}} \cdot l_{\text{гл}}$$

де $m_{\text{заг}}$ — маса замка;

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		16

$m_{вис}$ — маса труби з врахуванням висадки;

$l_{вис}$ — довжина висадки;

$m_{2л}$ — маса гладкої частини труби;

$l_{2л}$ — довжина гладкої частини труби.

$$m_1 = (12 + 8,5 \cdot 0,1) \cdot 2 + 6,94 \cdot 10,5 = 96,47 \text{ кг} - \text{Ø}60,3$$

$$m_2 = (8,6 + 7,5 \cdot 0,1) \cdot 2 + 6,04 \cdot 10,5 = 72,77 \text{ кг} - \text{Ø}50$$

Враховуючи те, що труба поставлена на дві опори, визначимо силу тяжіння труби на одну опору:

$$F_1 = \frac{1}{2} m_1 \cdot g = \frac{1}{2} 96,47 \text{ кг} \cdot 9,8 = 472,703 \text{ Н}$$

$$F_2 = \frac{1}{2} m_2 \cdot g = \frac{1}{2} 72,77 \text{ кг} \cdot 9,8 = 356,6 \text{ Н}$$

Враховуючи те, що труба може мати масу, яка на декілька кілограмів перевищує стандартну (за ГОСТом 631-75 це допустимо), приймаємо для подальших розрахунків $F_1 = 500 \text{ Н}$, $F_2 = 400 \text{ Н}$.

Крутний момент, який потрібний для обертання труби, розраховується за формулою:

$$M_{кр} = F_t \cdot \frac{d}{2},$$

де F_t — колова сила фрикційної передачі;

d — умовний діаметр труби.

Колова сила:

$$F_t = \frac{F_n f}{K}$$

де F_n — нормальна сила на опори (рис. 2.1):

$$F_{n1} = F_1 \cdot \cos 45^\circ = 500 \cdot 0,707 = 353,5 \text{ Н}$$

$$F_{n2} = F_2 \cdot \cos 45^\circ = 400 \cdot 0,707 = 282,8 \text{ Н}$$

f — коефіцієнт тертя гуми по сталі, $f = 0,55$;

K — запас зачеплення, приймаємо $K = 1,3$.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

$$F_{t1} = 353,5 \cdot 0,55 / 1,3 = 150H$$

$$F_{t2} = 282,8 \cdot 0,55 / 1,3 = 120H$$

$$M_{кр1} = 150 \cdot 0,03 = 4,5H \cdot м$$

$$M_{кр2} = 120 \cdot 0,03 = 3,6H \cdot м$$

З конструктивних міркувань приймаємо діаметр фрикційних роликів рівним 80 мм, отже передавальне число фрикційної передачі:

$$U_{\varphi1} = 60 / 80 = 0,75$$

$$U_{\varphi2} = 50 / 80 = 0,625$$

Момент на привідному валі:

$$M_{\varphi1} = M_{кр1} / U_{\varphi} \cdot \eta$$

де $\eta = 0,85$ — ККД фрикційної передачі.

$$M_{\varphi1} = 4,5 / (0,75 \cdot 0,85) = 7,1H \cdot м$$

Момент на привідний вал фрикційної роликової опори від двигуна буде передаватися через редуктор і пасову передачу. З конструктивних міркувань приймаємо:

$U_n = 1$ — передавальне число пасової передачі;

$U_3 = 10$ — загальне передавальне число редуктора.

Потрібний момент двигуна:

$$M_{nm} = M_{\varphi1} / U_n \cdot U_3 \cdot \eta_n \eta_3$$

де $\eta_n = 0,94$ — ККД пасової передачі;

$\eta_3 = 0,9$ — ККД редуктора планетарного одноступеневого.

$$M_{nm} = 5,1 / 1 \cdot 10 \cdot 0,94 \cdot 0,9 = 0,84H \cdot м$$

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		18

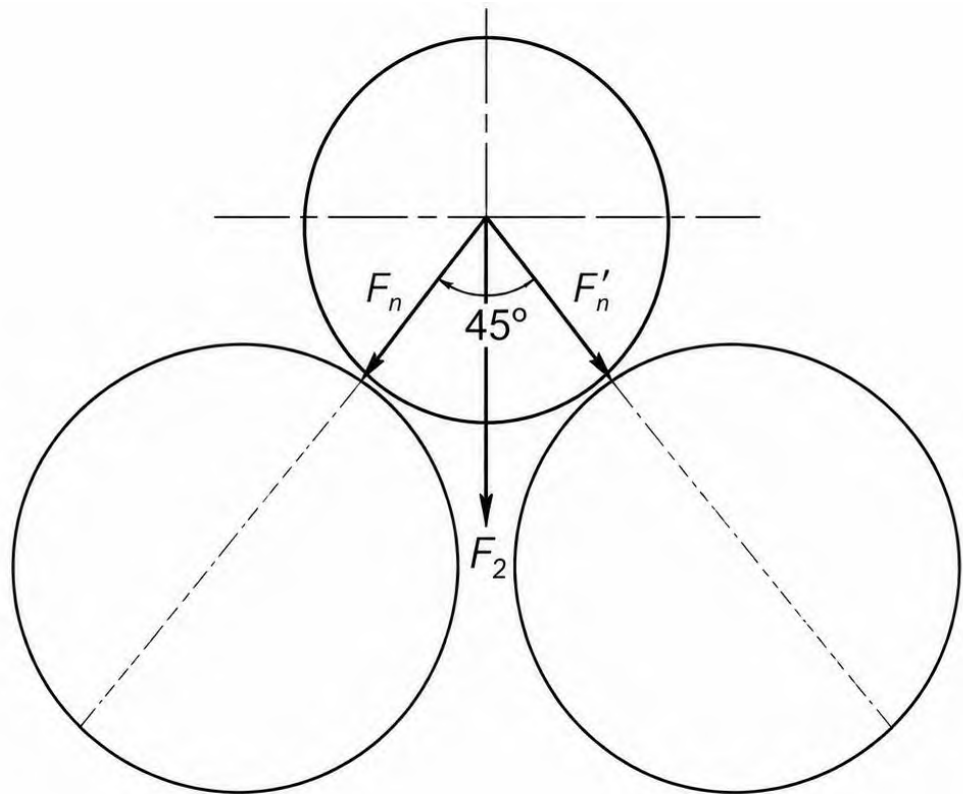


Рисунок 2.1 – Схема навантаження опор

Принцип роботи схеми навантаження опор

F_2 – вертикальне навантаження, що передається на верхню опору; F_n – нормальна реакція лівої опори на верхню опору; F'_n – нормальна реакція правої опори на верхню опору; кут між нормальними реакціями дорівнює 45° .

Вибираємо для нашого пристрою магнітоелектричний кроковий двигун з активним ротором ДШ-10А. Крок 18° , Номінальний момент навантаження 1 Нм, частота приємності 70 Гц.

Загальне передаточне число приводу:

$$U_{z1} = U_{\varphi1} \cdot U_n \cdot U_p = 0,75 \cdot 1 \cdot 10 = 7,5$$

$$U_{z2} = U_{\varphi2} \cdot U_n \cdot U_p = 0,625 \cdot 1 \cdot 10 = 6,25$$

Крок, з яким буде обертатися труба:

- для $\varnothing 60,3$ — $2,4^\circ$
- для $\varnothing 50$ — $2,88^\circ$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

2.6 Розрахунок планетарного одноступеневого мотор-редуктора

Момент на валу електродвигуна $T_B = 1 \text{ Нм}$.

Момент на вихідному валі:

$$T_T = T_B \cdot U_{ред} \cdot \eta_{ред}$$

де $\eta_{ред} = 0,95$ — ККД планетарної одноступеневої передачі;

$$T_T = 1 \cdot 10 \cdot 0,95 = 9,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Частота обертання вала крокового двигуна:

$$n_B = \frac{\alpha \cdot f}{360}$$

де α — крок двигуна;

f — частота приємності;

$$n_B = \frac{22,5^\circ \cdot 70}{360} = 262,5 \text{ об / хв}$$

Частота обертання вихідного вала:

$$n_T = \frac{n_B}{U_{ред}} = \frac{262,5}{10} = 26,25 \text{ об / хв}$$

З умови урівноваження сил в зачепленні приймаємо число сателітів $C = 3$.

Вибираємо число зубів сонячного колеса $Z_1 = 18$.

Визначаємо число зубів сателіта:

$$Z_2 = 0,5 \cdot Z_1 \cdot (U_{ред} - 2) = 0,5 \cdot 18 \cdot (10 - 2) = 72$$

Перевіряємо умову входження зубів в зачеплення:

$$\frac{2(Z_1 + Z_2)}{C} = \frac{2(18 + 72)}{3} = 60 \text{ - ціле число}$$

умова виконана.

Перевіряємо виконання умови сусідства:

$$(Z_1 + Z_2) \sin \frac{\pi}{C} \geq Z_2 + 2$$

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		20

$$(Z_1 + Z_2) \sin \frac{\pi}{C} = (18 + 72) \cdot 0,866 = 77,94$$

$Z_2 + 2 = 72 + 2 = 74; 77,94 > 74$, умова виконана.

Визначаємо число зубів корончатого колеса з умови співвісності:

$$Z_3 = Z_1 + 2Z_2 = 18 + 2 \cdot 72 = 162.$$

Прийmemo для коліс сталь марки 50, нормалізовану. Твердість поверхні 179...228 HB. Середня твердість коліс $HB_{cp} = 0,5(179 + 228) \approx 200$.

Допустимі напруження:

$$[\sigma_H] = \sigma_H limb \cdot K_H L / ([S_H])$$

$$[\sigma_F] = \sigma_F limb \cdot K_F L / ([S_F])$$

де σ_H — допустиме напруження контактної міцності,

σ_F — допустиме напруження згину,

$$\sigma_H limb = 2HB_{cp} + 70 = 2 \cdot 200 + 70 = 470 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_F limb = 1,05HB_{cp} = 1,05 \cdot 200 = 210 \text{ (Н)/мм}^2$$

$K_{HL} = 1, K_{FL} = 1$ — коефіцієнти довговічності,

$S_H = 1,15; S_F = 1,15$ — коефіцієнти безпеки,

$$\sigma_H = 470 \cdot 1 / 1,15 = 410 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_F = 210 \cdot 1 / 1,15 = 183 \text{ Н/мм}^2$$

Попередня міжосьова віддаль між сонячним колесом і сателітом:

$$a_w \geq 0,85(U + 1) \sqrt[3]{\frac{E_{np} \cdot T_z \cdot K_{H\beta} \cdot K_c}{[\sigma_H]^2 \cdot U^2 \cdot \psi_{ea} \cdot C}}$$

де U — передаточне число, $U = Z_2 / Z_1 = 72 / 18 = 4$

$E_{np} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ (Н)/мм}^2$ — приведений модуль пружності;

$$T_z = T_T = 9,5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$K_{H\beta} = 1,2$ — коефіцієнт концентрації навантаження,

						КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
							21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

$K_c = 1,2$ — коефіцієнт нерівномірності розподілення навантаження між сателітами,

$\psi_{ca} = 0,4$ — коефіцієнт ширини.

$$a_w \geq 0,85(4+1) \sqrt[3]{\frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 9,5 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{410^2 \cdot 4^2 \cdot 0,4 \cdot 3}}$$

Приймаємо $a_w = 45$

Визначаємо модуль зачеплення

$$m = 2a_w / (Z_2 / Z_1)$$

$$m = 2 \cdot 45 / (18 + 72) = 1 \text{ мм}$$

Визначаємо розміри коліс. Ділильні діаметри:

$$d = Z \cdot m$$

$$d_1 = Z_1 \cdot m = 18 \cdot 1 = 18 \text{ мм}$$

$$d_2 = Z_2 \cdot m = 72 \cdot 1 = 72 \text{ мм}$$

$$d_3 = Z_3 \cdot m = 162 \cdot 1 = 162 \text{ мм}$$

Діаметри кіл вершин d_a і впадин d_f :

$$d_a = d + 2m,$$

$$d_f = d - 2,5m,$$

$$d_1a = d_1 + 2m = 18 + 2 \cdot 1 = 20 \text{ мм}$$

$$d_1f = d_1 - 2,5m = 18 - 2,5 \cdot 1 = 15,5 \text{ мм}$$

$$d_2a = d_2 + 2m = 72 + 2 \cdot 1 = 74 \text{ мм}$$

$$d_2f = d_2 - 2,5m = 72 - 2,5 \cdot 1 = 69,5 \text{ мм}$$

$$d_3a = d_3 + 2m = 162 + 2 \cdot 1 = 164 \text{ мм}$$

$$d_3f = d_3 - 2,5m = 162 - 2,5 \cdot 1 = 159,5 \text{ мм}$$

Уточнюємо ширину сателіта:

$$e_2 = \psi_{ca} \cdot a_w = 0,4 \cdot 45 = 18 \text{ мм}$$

Сили в зачепленні. Колова сила:

$$F_t = 2K_c \cdot T_B / (C \cdot d_1)$$

$$F_t = 2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 10^3 / (3 \cdot 18) = 44,4 \text{ Н}$$

									КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат						22

Радіальна сила:

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$F_r = 44,4 \cdot \tan 20^\circ = 16 \text{ Н}$$

Перевірка зубів коліс за напруженням згину і за контактними напруженнями.

Колова швидкість сонячного колеса:

$$V = \pi d_1 n_1' / 60000,$$

де $n_1' = n_B - n_T = 262,5 - 26,25 = 236,25$ — відносна частота обертання сонячного колеса;

$$V = 3,14 \cdot 18 \cdot 236,25 / 60000 = 0,22 \text{ м/с}$$

По табл. 2.4 [] ступінь точності передачі — 9.

Розрахункове значення напруження згину в зубах колеса:

$$\sigma_{F2} = K_{F\alpha} \cdot Y_\beta \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\gamma} \cdot Y_{F2} \cdot F_t / (b_2 \cdot m)$$

де $K_{F\alpha} = 1$ (колеса прямозубі);

$Y_\beta = 1$ (колеса прямозубі);

$K_{F\beta} = 1 + 1,5\psi_d / S = 1 + 1,5 \cdot 0,75 / 8 = 1,14$ — коефіцієнт концентрації навантаження;

$K_{F\gamma} = 1,4$ — коефіцієнт динамічного навантаження;

$Y_{F2} = 3,62$ — коефіцієнт форми зуба.

$$\sigma_{F2} = 1 \cdot 1,14 \cdot 1,4 \cdot 3,62 \cdot 44,4 / (18 \cdot 1) = 14,25 \text{ Н/мм}^2$$

Розрахункове напруження згину в зубах сонячного колеса:

$$\sigma_{F1} = \sigma_{F2} \cdot Y_{F1} / Y_{F2}$$

де $Y_{F1} = 3,92$ — коефіцієнт форми зуба;

$$\sigma_{F1} = 14,25 \cdot 3,92 / 3,62 = 15,43 \text{ Н/мм}^2$$

Напруження згину в зубах обох коліс значно нижчі допустимого ($[\sigma_F] = 183 \text{ Н/мм}^2$)

Розрахункове контактне напруження:

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		23

$$\sigma_H = 436 \sqrt{\frac{K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\gamma} (U' + 1) F_t}{d_2 \cdot v_2}}$$

де $K_{H\alpha} = 1$ (колена прямозубі);

$$K_{H\gamma} = 1,2$$

$$\sigma_H = 436 \sqrt{\frac{1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 (4 + 1) 44,4}{72 \cdot 18}} = 216,5 \text{ Н / мм}^2$$

що менше допустимого ($[\sigma_H] = 410 \text{ (Н) / мм}^2$).

Визначимо деякі розміри тихохідного вала.

$$\text{Діаметр кінцевої ділянки } d = \sqrt[6]{T_T} = 6\sqrt[3]{9,5} = 12,7 \text{ мм}$$

Приймаємо $d = 14 \text{ мм}$.

Діаметри інших ділянок:

$$d_1 = d + 2 \cdot t_{\text{цил}} = 14 + 2 \cdot 3 = 20 \text{ мм}$$

$$d_2 = d_1 + (2 \dots 4) = 20 + (2 \dots 4) = 22 \dots 24 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення d_2 М24;

$d_n > d_2$. Приймаємо $d_n = 25 \text{ мм}$.

$$d_{\text{БП}} = d_n + 3r = 25 + 3 \cdot 2 = 31 \text{ мм}$$

Довжина посадочного кінця вала $l_{\text{зм}} = 1,5d = 1,5 \cdot 14 = 21 \text{ мм}$.

Довжина проміжної ділянки $l_{\text{км}} = 1,5d = 0,8 \cdot 25 = 20 \text{ мм}$.

Довжина різбової ділянки $0,4d_n = 0,4 \cdot 25 = 10 \text{ мм}$.

Приймаємо цю ділянку довжиною 12 мм.

Довжина циліндричної ділянки $0,15d = 0,15 \cdot 20 = 3 \text{ мм}$.

Приймаємо довжину цієї ділянки 3 мм.

Для опор вала приймемо кулькові радіальні підшипники легкої серії, для сателітів — кулькові радіальні сферичні підшипники легкої серії.

Підбір підшипників кочення, встановлюваних в сателіти.

Тип підшипника — кульковий радіальний сферичний двохрядний.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		24

Радіальне навантаження $R_r = 2F_t = 2 \cdot 44,4 = 88,8H$.

Еквівалентне навантаження R_E при $V = 1,2; K_\sigma = 1,4; K_T = 1$:

$$R_E = VR_r \cdot K_\sigma \cdot K_T = 1,2 \cdot 88,8 \cdot 1,4 \cdot 1 = 150H$$

Потрібна вантажопідйомність при $a_{23} = 0,55$, довговічності $L'_{10ah} = 10000$ год і відносній частоті обертання $n'_a = n_a - n_T = 262,5 - 26,25 = 236,25$:

$$C_{\text{гнт}} = R_E \sqrt[3]{\frac{1}{a_{23}} \cdot \frac{60 \cdot n'_a \cdot Z_a \cdot L'_{10ah}}{10^6 \cdot Z_g}}$$

$$C_{\text{гнт}} = 150 \sqrt[3]{\frac{1}{0,55} \cdot \frac{60 \cdot 236,25 \cdot 18 \cdot 10000}{10^6 \cdot 72}} = 601,3 \text{ Н}$$

Підбираємо підшипник з діаметром отвору 12 мм. Підшипник 1201 підходить, так як $C_{\text{гнт}} < C_r$ ($601,3 < 1500$).

Підбір підшипників кочення для вихідного вала — водила. Частота обертання вала $n = n_m = 26,25$ об/хв.

Підшипник кульковий радіальний однорядний.

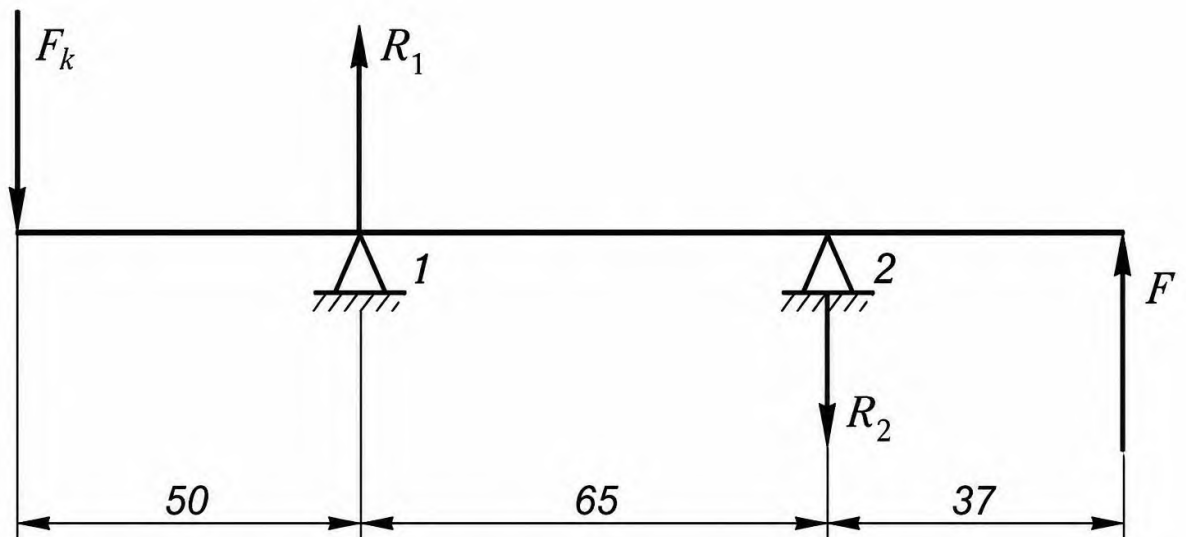


Рисунок 2.2 — Схема для визначення реакцій опор.

Опис схеми для визначення реакцій опор

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 032.00.00.000 ПЗ

Арк.

25

Схема призначена для визначення реакцій двох опор балки під дією зовнішнього навантаження. Балка має дві опори — опору 1 та опору 2, між якими прикладене навантаження.

На лівому кінці балки прикладена вертикальна сила F , напрямлена вниз. Опора 1 створює реакцію R_1 , напрямлену вгору. Опора 2 створює реакцію R_2 , напрямлену вниз.

Відстані між характерними точками балки:

- від сили F_k до опори 1 — 50 мм;
- між опорами 1 і 2 — 65 мм;
- від опори 2 до правого краю балки — 37 мм.

Схема використовується для складання рівнянь рівноваги:

- суми вертикальних сил;
- суми моментів відносно опор.

Це дозволяє визначити величини реакцій опор R_1 та R_2 .

На рис. 2.2 показана розрахункова схема для визначення реакцій опор. Вихідний вал навантажений силами F і F_k .

$$F = 0,1 \cdot T_T / a_w = 0,1 \cdot 9,5 \cdot 10^3 / 45 = 21,1 \text{ Н}$$

$$\text{Консольна сила } F_k = 125 \sqrt{T_T} = 125 \sqrt{9,5} = 385 \text{ Н}$$

З умови рівності нулю моментів в опорах 1 і 2 маємо:

$$\sum M_1 = 0; -385 \cdot 50 + R_2 \cdot 65 - 21,1 \cdot (65 + 37) = 0;$$

$$R_2 = \frac{385 \cdot 50 + 21,1 \cdot (65 + 37)}{65} = 329 \text{ Н};$$

$$\sum M_2 = 0; -385 \cdot (50 + 65) + R_1 \cdot 65 - 21,1 \cdot 37 = 0;$$

$$R_1 = \frac{385 \cdot (50 + 65) + 21,1 \cdot 37}{65} = 693 \text{ Н};$$

Перевірка: $-F_k + R_1 - R_2 + F = -385 + 693 - 329 + 21,1 \approx 0$, реакції знайдено правильно.

									Арк.
									26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					

Підбір підшипників проводимо по найбільш навантаженій опорі 1:

$$R_r = R_1 = 693 \text{ Н}$$

Еквівалентне навантаження при $V = 1$, $K_B = 1,4$, $K_T = 1$:

$$R_E = V \cdot R_r \cdot K_B \cdot K_T = 1 \cdot 693 \cdot 1,4 \cdot 1 = 970,2 \text{ Н}$$

Потрібна вантажопідйомність при $a_{23} = 0,75$ і довговічності $L_{10ah} = 10000$ год :

$$C_{rmm} = R_E \sqrt[3]{\frac{1}{a_{23}} \cdot \frac{60 \cdot n \cdot L_{10ah}}{10^6}} = 970,2 \sqrt[3]{\frac{1}{0,75} \cdot \frac{60 \cdot 26,25 \cdot 10^4}{10^6}} = 2676,7 \text{ Н}$$

Раніше намічений кульковий радіальний однорядний підшипник 205 підходить: $C_r = 14 \text{ кН}$ ($C_r > C_{rmm}$).

Для змащування зачеплення і підшипників застосуємо картерну систему змащування мінеральним маслом И-Г-А-68. Рівень заливки маслом встановимо рівним:

$$h_m = 0,25 \cdot d_2 = 0,25 \cdot 72 = 18 \text{ мм}$$

В кришці підшипників розмістимо манжету.

2.7 Розрахунок пасової передачі

З конструктивних міркувань вибираємо клиновий пас січення О.

Вибираємо діаметр ведучого шківів $d_1 = 67 \text{ мм}$.

Визначаємо діаметр веденого шківів d_2 :

$$d_2 = d_1 \cdot U_n \cdot (1 - \varepsilon),$$

де $U_n = 1$ — передавальне число пасової передачі;

$\varepsilon = 0,01$ — коефіцієнт ковзання.

$$d_2 = 67 \cdot 1 \cdot (1 - 0,01) = 66,33 \text{ мм}.$$

Приймаємо $d_2 = 67 \text{ мм}$.

З конструктивних міркувань приймаємо міжосьову віддаль $a_w = 105 \text{ мм}$.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Визначаємо розрахункову довжину паса l :

$$l = 2a + \frac{\pi}{2}(d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a},$$

$$l = 2 \cdot 105 + \frac{3,14}{2}(67 + 67) = 420 \text{ мм.}$$

Визначаємо кут обхвату пасом ведучого шківів:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \frac{d_2 - d_1}{a},$$

$$\alpha_1 = 180^\circ.$$

Визначаємо швидкість ремня:

$$v = \pi d_1 n_1 / (60 \cdot 10^3),$$

$$v = 3,14 \cdot 67 \cdot 26,25 / (60 \cdot 10^3) = 0,1 \text{ м/с.}$$

Сили в передачі. Сила попереднього натягу:

$$F_0 = \frac{850 \cdot P_{\text{ном}} \cdot C_\alpha}{z \cdot v \cdot C_L \cdot C_p}$$

$$\text{де } P_{\text{ном}} = T_T \cdot \frac{n_T \pi}{30} = 9 \cdot \frac{3,14 \cdot 26,25}{30} = 24 \text{ Вт.}$$

$$C_\alpha = 0,9; C_L = 1; C_p = 1; z = 1$$

$$F_0 = \frac{850 \cdot 24 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9}{1 \cdot 1 \cdot 0,11} = 183 \text{ Н}$$

Колова сила

$$F_t = P_{\text{ном}} / v$$

$$F_t = 24 / 0,1 = 240 \text{ Н}$$

Сили натягу ведучої F_1 і веденої F_2 вітки

$$F_1 = F_0 + F_t / 2$$

$$F_2 = F_0 - F_t / 2$$

$$F_1 = 183 + 240 / 2 = 303 \text{ Н}$$

$$F_2 = 183 - 240 / 2 = 63 \text{ Н}$$

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		28

Сила тиску на вал

$$F_{on} = 2F_0 \sin \frac{\alpha_1}{2}$$

$$F_{on} = 2 \cdot 183 \sin 90^\circ = 366 \text{ Н}$$

2.8 Розрахунок фрикційної передачі

Визначимо діаметр ролика

$$d = \frac{d_{mp}}{U_\phi} = \frac{60,3}{0,75} = 80,4 \text{ мм}$$

Ролик виготовляється з сталі марки 50, на яку зверху наплавляють шар гуми товщиною 3 мм.

Для роликів опор приймемо кулькові радіальні підшипники середньої серії 302. Для змащування застосуємо мастило ЦИАТИМ 202. Для ущільнення застосуємо манжети.

2.9 Розрахунок пружини стиску

Матеріал — стальна пружинна проволочка. Границя текучості $\tau_T = 1000 \text{ МПа}$, коефіцієнт запасу по текучості $n_T \geq 2$, $G = 8,1 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

Допустиме напруження:

$$[\tau] = \frac{\tau_T}{n_T} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ МПа}$$

З конструктивних міркувань приймаємо:

$D = 14 \text{ мм}$ — середній діаметр пружини;

$C = 10$ — індекс пружини.

Визначаємо діаметр проволочки:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{k \cdot 8 \cdot P \cdot D}{\pi [\tau]}}$$

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		29

$$\text{де } k = \frac{4C + 2}{4C - 3} = \frac{4 \cdot 10 + 2}{4 \cdot 10 - 3} = 1,14.$$

P — сила, яка діє на пружину. З конструктивних міркувань приймаємо $P = 10 \text{ Н}$.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{1,14 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 14}{3,14 \cdot 500}} = 1 \text{ мм}$$

Приймаємо $d = 1,4 \text{ мм}$.

Визначаємо число робочих витків:

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

де λ — прогин. Приймаємо $\lambda = 2 \text{ мм}$.

$$i = \frac{2 \cdot 8,1 \cdot 10^4 \cdot 1,4}{8 \cdot 10^3 \cdot 10} = 4$$

Повне число витків:

$$n_{нов} = n + (1 \dots 2) = 5 \dots 6.$$

Мінімальний зазор між витками при максимальному робочому навантаженні:

$$\Delta = (0,1 \dots 0,2) \lambda / n = 0,05 \dots 0,1 \text{ мм}$$

Крок пружини:

$$p = \frac{\lambda}{n} + d + \Delta = 3 \dots 3,1 \text{ мм}$$

Довжина незавантаженої пружини:

$$L_0 = L + n(p - d) = (n_{нов} - 0,5)d + n(p - d)$$

$$L_0 = (5 - 0,5) \cdot 1,4 + 4(3 - 1,4) = 12,7 \text{ мм}$$

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

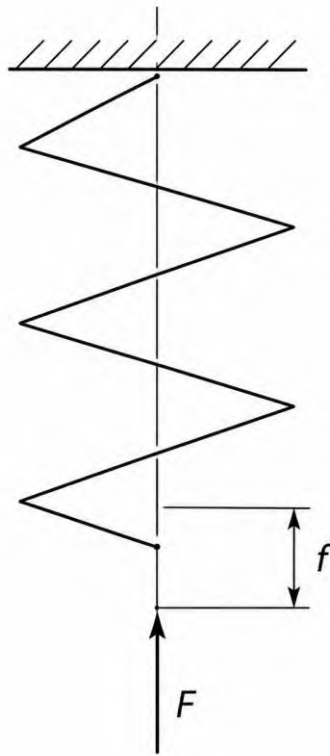


Рисунок 2.3 — Схема розрахунку пружини стиску

На рисунку 2.3 показано розрахункову схему плоскої пружини, закріпленої у верхній частині на нерухомій опорі.

Пружина має зигзагоподібну форму, що дозволяє їй деформуватися під дією прикладеного навантаження.

До нижнього кінця пружини прикладена сила F , напрямлена вздовж осі пружини. Під дією цієї сили пружина змінює своє положення, а величина переміщення нижнього кінця позначена як f .

Така схема використовується для визначення деформації плоскої пружини під навантаженням, а також для подальшого розрахунку її жорсткості.

Основними параметрами для розрахунку є прикладена сила F та відповідне переміщення f .

Чим більшим є навантаження, тим більшою буде деформація пружини, за умови роботи матеріалу в межах пружної області.

2.10 Розрахунок плоских пружин

Гнучкий кронштейн складається з чотирьох плоских пружин. Для пружин вибираємо матеріал — сталь марки 60С2А, $\sigma_B = 1570$ МПа .

Допустиме напруження згину:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{n} \cdot y$$

де n — коефіцієнт запасу міцності; $n = 4$;

y — коефіцієнт відповідальності пружини, $y = 1$.

$$[\sigma] = \frac{1570}{4} \cdot 1 \approx 400 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

З конструктивних міркувань прийmemo зусилля, яке сприймає пружина 10 Н і припускаємо, що робочий прогин $u = 5$ мм .

Прийmemo ширину пружини $b = 10$ мм .

Перетворимо ф-лу:

$$u = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J_x} = \frac{4 \cdot F \cdot l^3}{E \cdot b \cdot h^3}$$

$$\frac{l}{h} = \sqrt[3]{\frac{b \cdot E \cdot u}{4 \cdot F}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 5}{4 \cdot 10}} = 64$$

Визначимо висоту пружини:

$$[\sigma_{max}] = \frac{F \cdot l}{W_o} = \frac{6 \cdot F \cdot l}{b \cdot h^2}$$

$$h = \frac{6 \cdot F}{[\sigma] \cdot b} \left(\frac{l}{h} \right) = \frac{6 \cdot 10}{400 \cdot 10} (64) \approx 1 \text{ мм}$$

Довжина пружини $l = 64 \cdot h = 64 \cdot 1 = 64$ мм .

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		32

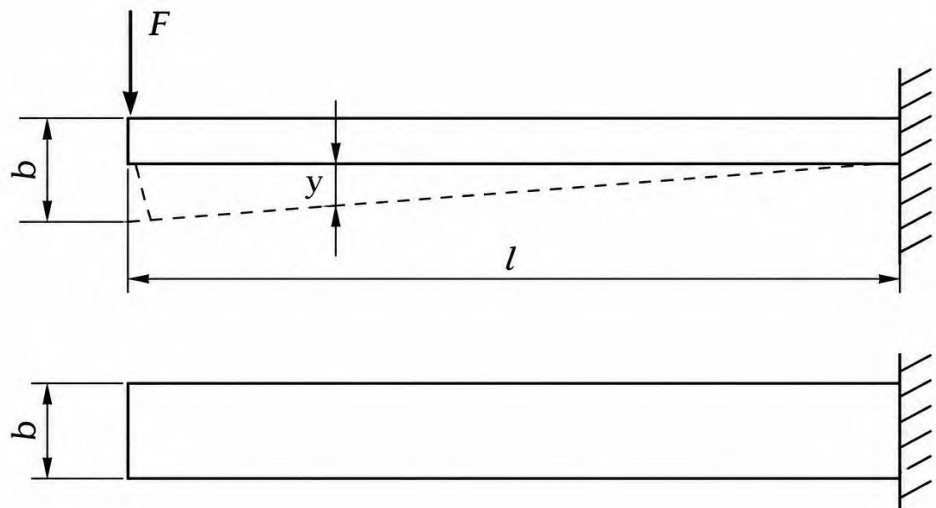


Рисунок 2.4 — Схема розрахунку плоскої пружини

У верхній частині показано навантажений стан пружини:

F – прикладена сила на вільному кінці; l – довжина пружини, тобто відстань від точки прикладання сили до місця затиснення; b – ширина / товщина пружини;

y – прогин, тобто переміщення вільного кінця пружини під дією сили F .

У нижній частині показано недеформований стан плоскої пружини з основним розміром b . Така схема використовується для розрахунку прогину та жорсткості плоскої пружини при консольному закріпленні.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз задачі автоматизації вимірювання

Спеціальна частина присвячена розробленню системи керування, вимірювання та обробки інформації для пристрою вимірювання відхилення від співвісності циліндричної поверхні і конічної різьби. Основною задачею цієї частини є поєднання механічного вимірювального вузла з електричною системою, яка забезпечує дискретне обертання контрольованої деталі, зчитування сигналів з перетворювачів та визначення параметрів неспіввісності.

Пристрій повинен забезпечувати вимірювання двох складових відхилення: лінійної складової, яка проявляється як радіальне зміщення осі різьби відносно осі циліндричної поверхні, та кутової складової, що характеризує нахил осі конічної різьби відносно базової осі труби. Для цього до складу приладу входять механічний вузол базування, привід повороту труби, вимірювальний вузол з коромислом та два індуктивні перетворювачі, розташовані у взаємно перпендикулярних напрямках

Об'єктом контролю є бурова труба або подібна циліндрична деталь із замком, на якому виконана конічна різьба. Базовою віссю під час вимірювання приймається вісь циліндричної поверхні труби, а контрольованою віссю — вісь конічної різьби замка. Відхилення між цими осями виникає внаслідок похибок виготовлення, нарізання різьби або зварювання замка з тілом труби.

Автоматизація процесу вимірювання потрібна для зменшення впливу оператора, підвищення повторюваності результатів та забезпечення можливості реєстрації показів у декількох кутових положеннях труби. Основний принцип роботи полягає в тому, що труба встановлюється на роликові опори та повертається кроковим приводом. Після кожного повороту привід зупиняється, а вимірювальна система зчитує сигнали з індуктивних перетворювачів. Отримані значення використовуються для визначення найбільшого і найменшого відхилення, повного радіального биття та величини неспіввісності.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		34

До системи автоматизації ставляться такі основні вимоги:

- забезпечення плавного і дискретного повороту труби без ударних навантажень на вимірювальний вузол;
- зчитування сигналів тільки після повної зупинки труби та стабілізації показів перетворювачів;
- можливість нульового налаштування перед початком вимірювання;
- збереження результатів вимірювання для подальшої обробки та порівняння з допустимими значеннями;
- відокремлення силової частини приводу від вимірювальних каналів, щоб зменшити електричні завади.

Таблиця 3.1 – Основні вузли автоматизованої системи вимірювання

Вузол	Призначення	Основні елементи
Привід обертання	Забезпечує дискретний поворот контрольованої труби на заданий кут.	Кроковий двигун ДШ-10А, драйвер, редуктор, пасова передача, фрикційний ролик.
Механічний вузол базування	Формує базову вісь та забезпечує встановлення вимірювального вузла відносно конічної різьби.	Оправка, обойма, напрямні стержні, повзун, корпус.
Вимірювальний вузол	Перетворює геометричне відхилення у переміщення, доступне для вимірювання.	Коромисло, щуп, втулка, пружини, індуктивні перетворювачі.
Електронний блок	Керує приводом, зчитує сигнали та виконує первинну обробку даних.	Мікроконтролер, АЦП, фільтри, блок живлення, індикатор або ПК.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

3.2 Функціональна схема пристрою

Функціональна схема показує взаємозв'язок основних частин пристрою: блоку керування, приводу обертання труби, механічного вимірювального вузла, датчиків та системи обробки інформації. На відміну від кінематичної схеми, функціональна схема не деталізує форму деталей, а показує, які сигнали, команди та фізичні дії передаються між вузлами.



Позначення: IP1 — перетворювач лінійного переміщення; IP2 — перетворювач кутової складової; Δr — радіальне відхилення; ϕ — кутова неспіввність.

Рисунок 3.1 – Функціональна схема пристрою для вимірювання відхилення від співвсності

Згідно з функціональною схемою, оператор встановлює трубу на роликові опори, закріплює оправку з обоймою на конічній різьбі замка та виконує нульове налаштування вимірювального вузла.

Після запуску мікроконтролерний блок формує керуючі імпульси для драйвера крокового двигуна. Двигун передає рух через планетарний редуктор, пасову передачу та фрикційний ролик на контрольовану трубу.

Після повороту труби на заданий кут мікроконтролер зупиняє привід і виконує паузу для механічної стабілізації.

У цей момент індуктивні перетворювачі IP1 та IP2 зчитують переміщення елементів вимірювального вузла. Один канал використовується для визначення лінійної складової неспіввісності, другий — для визначення кутової складової. Далі сигнали надходять на підсилювачі, фільтри та АЦП, після чого обробляються мікроконтролером або передаються на ПК.

Перевагою такої структури є те, що силова частина приводу працює лише під час повороту труби, а вимірювання проводиться в нерухомому стані. Це зменшує вплив вібрацій, прослизання фрикційного ролика та динамічних похибок на результат вимірювання.

3.3 Принципова електрична схема

Принципова електрична схема призначена для відображення електричних з'єднань між джерелом живлення, мікроконтролерним блоком, драйвером крокового двигуна, індуктивними перетворювачами та засобами індикації. Схема розроблена з урахуванням того, що силовий канал приводу і вимірювальні канали мають різний рівень струмів та різну чутливість до завад.

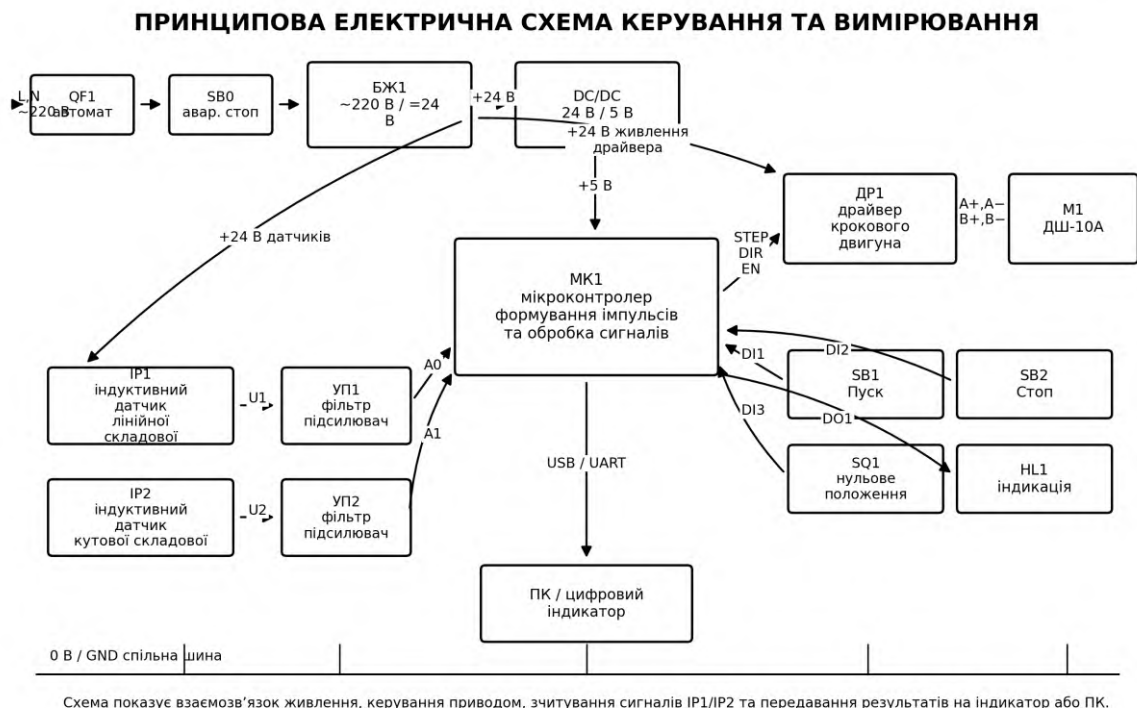


Рисунок 3.2 – Принципова електрична схема системи керування та вимірювання

Живлення схеми здійснюється від мережі змінного струму 220 В через автоматичний вимикач QF1 та кнопку аварійної зупинки SB0. Блок живлення БЖ1 перетворює мережеву напругу у постійну напругу 24 В, яка використовується для живлення драйвера крокового двигуна і індуктивних перетворювачів.

Для живлення мікроконтролера застосовується понижувальний перетворювач DC/DC з вихідною напругою 5 В.

Мікроконтролер МК1 формує сигнали STEP, DIR та EN для драйвера ДР1. За сигналом STEP драйвер виконує один крок або мікрокрок двигуна, сигнал DIR задає напрямок обертання, а сигнал EN дозволяє або забороняє роботу силового каскаду.

Драйвер перетворює логічні сигнали мікроконтролера у струми обмоток крокового двигуна М1. Таким чином забезпечується дискретний поворот труби на заданий кут.

Сигнали з індуктивних перетворювачів IP1 та IP2 надходять на узгоджувальні підсилювачі УП1 та УП2. Ці вузли виконують фільтрацію високочастотних завад, нормування сигналу за рівнем і передавання його на аналогові входи мікроконтролера.

Якщо використовується зовнішній АЦП, він підключається між підсилювачами та мікроконтролером.

Для підвищення точності вимірювання корпус приладу, екрани кабелів датчиків і загальна шина живлення повинні бути з'єднані за правилом «однієї точки», щоб уникнути паразитних контурів заземлення.

Кнопки SB1 «Пуск» і SB2 «Стоп» використовуються для керування циклом вимірювання. Датчик SQ1 може застосовуватися для визначення початкового кутового положення труби або вимірювального вузла.

Світлодіод HL1 сигналізує про стан приладу: готовність, виконання вимірювання або помилку. Через інтерфейс USB або UART результати можуть передаватися на ПК чи цифровий індикатор.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		38

Таблиця 3.2 – Перелік основних елементів принципової електричної схеми

Позначення	Найменування	Призначення	Примітка
QF1	Автоматичний вимикач	Захист ввімкнення живлення	Встановлюється на вході 220 В
SB0	Кнопка аварійної зупинки	Швидке відключення силової частини	Нормально замкнений контакт
БЖ1	Блок живлення 24 В	Живлення драйвера та датчиків	Потужність вибирають за струмом двигуна
DC/DC	Перетворювач 24/5 В	Живлення мікроконтролера	Стабілізована напруга 5 В
МК1	Мікроконтролерний блок	Керування приводом і обробка сигналів	Може бути виконаний на промисловому контролері або мікроконтролері
ДР1	Драйвер крокового двигуна	Керування обмотками двигуна	Підключення за сигналами STEP, DIR, EN
М1	Кроковий двигун ДШ-10А	Дискретне обертання труби	Крок двигуна 18°
ІР1, ІР2	Індуктивні перетворювачі	Вимірювання лінійної та кутової складових	Встановлюються взаємно перпендикулярно
УП1, УП2	Підсилювачі та фільтри	Узгодження сигналів датчиків з АЦП	Зменшення шумів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КБР 032.00.00.000 ПЗ

Арк.

39

Опис роботи електричної схеми

Електрична схема призначена для живлення та обробки сигналів вимірювального приладу контролю внутрішніх поверхонь деталей

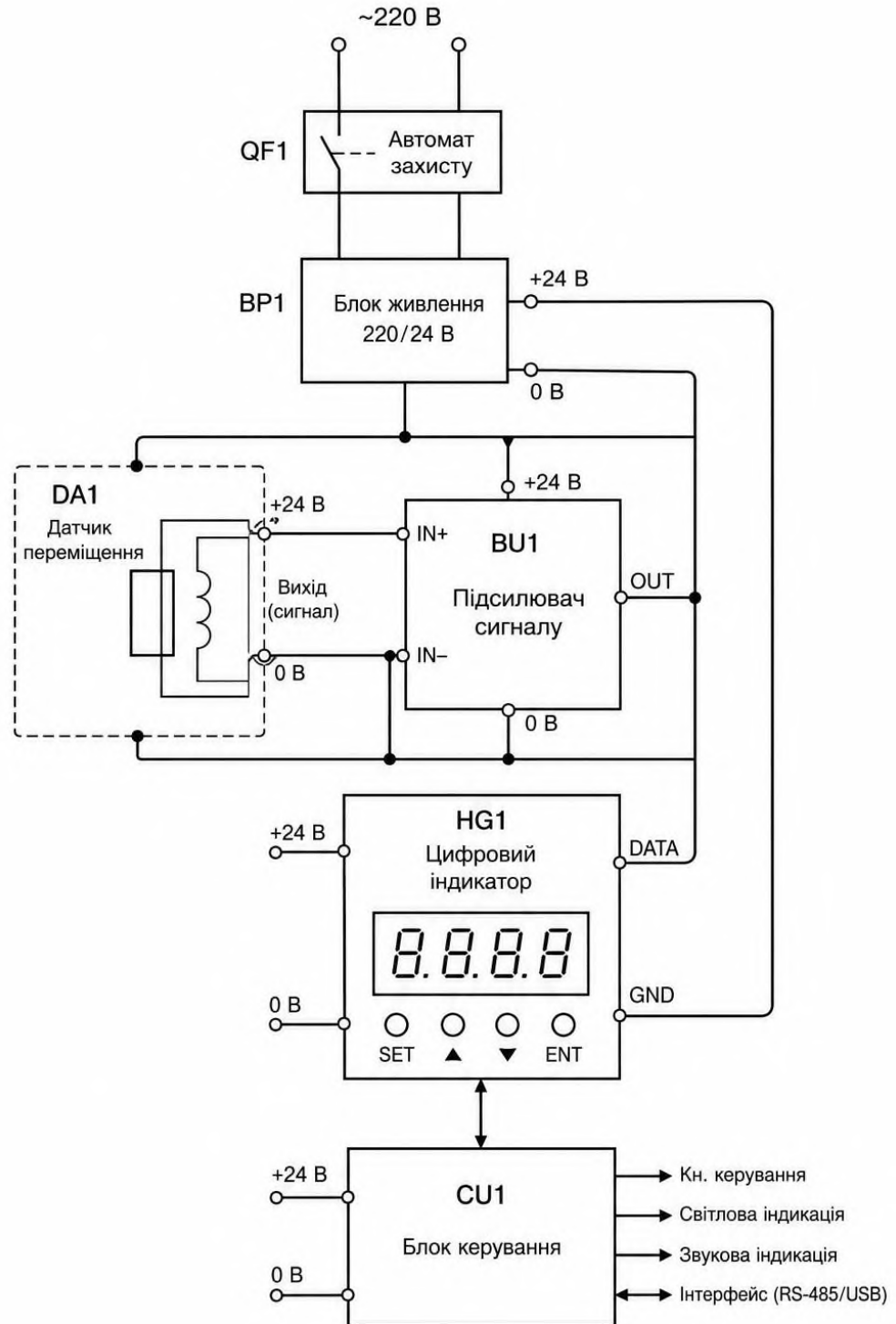


Рисунок 3.3 Електрична схема

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Живлення від мережі змінного струму 220 В подається на автомат захисту QF1, який забезпечує захист схеми від короткого замикання та перевантаження.

Далі напруга надходить до блока живлення ВР1, де перетворюється у стабілізовану напругу 24 В постійного струму для живлення електронних компонентів системи.

Датчик переміщення DA1 реєструє зміщення вимірювального щупа при контакті з поверхнею контрольованої деталі. Електричний сигнал від датчика надходить до підсилювача сигналу ВU1, який збільшує амплітуду сигналу до необхідного рівня.

Після підсилення сигнал передається на цифровий індикатор НG1, де відображається значення переміщення або відхилення контрольованого профілю.

Блок керування СU1 виконує функції обробки сигналів, налаштування режимів роботи та забезпечує стабільність вимірювання.

3.4 Алгоритм роботи вимірювальної системи

Алгоритм роботи системи повинен забезпечувати послідовне виконання підготовчих операцій, повороту труби, стабілізації вимірювального вузла, зчитування сигналів та обробки результатів. Важливо, щоб вимірювання виконувалося не під час руху, а після зупинки труби. Це дозволяє зменшити похибку, пов'язану з коливаннями коромисла і пружних елементів.

Перед початком вимірювання оператор виконує установлення деталі та нульове налаштування. Нульове налаштування потрібне для того, щоб початкові покази ІР1 та ІР2 відповідали базовому положенню вимірювального вузла. Після цього система послідовно повертає трубу на заданий кут. Для кожного положення фіксуються значення сигналів обох перетворювачів.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 3.4 – Алгоритм вимірювального циклу

Кількість вимірювальних положень вибирається залежно від необхідної точності та часу контролю.

Чим менший крок повороту труби, тим більша кількість точок на колі буде виміряна і тим точніше визначається максимальне відхилення.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Разом з тим надмірне збільшення кількості точок збільшує тривалість контролю. Практично доцільно приймати крок таким, щоб за один оберт було отримано не менше 120–150 значень.

3.5 Обробка результатів вимірювання та математичне моделювання

Наукова складова спеціальної частини полягає в побудові математичної моделі перетворення сигналів датчиків у геометричні параметри неспіввісності. Нехай у кожному i -му положенні труби вимірюються два сигнали: $U_{1 i}$ — сигнал каналу лінійного зміщення, $U_{2 i}$ — сигнал каналу кутової складової.

Перед початком роботи фіксуються нульові значення $U_{1 0}$ та $U_{2 0}$. Після калібрування сигнали перетворюються у переміщення за залежностями:

$$x_i = k_1 \cdot (U_{1 i} - U_{1 0}),$$

$$y_i = k_2 \cdot (U_{2 i} - U_{2 0}),$$

де x_i — лінійне відхилення у i -му положенні; y_i — величина, пропорційна кутовій складовій; k_1 і k_2 — калібрувальні коефіцієнти відповідних вимірювальних каналів.

Для визначення повного радіального биття використовується різниця між максимальним і мінімальним значенням лінійного відхилення за один повний оберт труби:

$$T_r = x_{ax} - x_i.$$

Відхилення від співвісності, якщо воно оцінюється як половина повного радіального биття, визначається за формулою:

$$\Delta_r = T_r / 2 = (x_{ax} - x_i) / 2.$$

Кутова складова неспіввісності може бути оцінена за відхиленням вимірювального важеля або за різницею показів у двох характерних положеннях.

Якщо відома база вимірювання L , то кут нахилу осі можна визначити за наближеною залежністю:

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		43

$$\varphi \approx \arctg(\Delta x / L),$$

де Δx — різниця лінійних відхилень на вибраній базі вимірювання; L — відстань між розрахунковими перерізами або ефективна база вимірювального вузла.

Для малих кутів можна використовувати спрощення $\varphi \approx \Delta x / L$.

Щоб зменшити вплив випадкових відхилень, для кожної точки вимірювання доцільно виконувати декілька зчитувань і використовувати середнє значення:

$$\bar{x}_i = (x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in}) / m,$$

де m — кількість повторних зчитувань у одному кутовому положенні.

Такий підхід дозволяє зменшити вплив електричних шумів, пружних коливань вимірювального вузла та незначних коливань контакту щупа з поверхнею труби.

Результат контролю може подаватися у вигляді таблиці значень за кутом повороту, графіка залежності відхилення від кута або підсумкового висновку про придатність деталі. Якщо отримане значення Δ_r або φ перевищує встановлений допуск, деталь підлягає додатковій перевірці або бракуванню.

3.6 Калібрування та забезпечення точності

Перед початком експлуатації прилад необхідно відкалібрувати. Калібрування виконується за допомогою еталонної деталі або контрольної оправки з відомими геометричними параметрами.

Під час калібрування визначаються нульові положення перетворювачів та коефіцієнти перетворення k_1 і k_2 .

Особливу увагу потрібно приділити відсутності люфтів у вузлах кріплення вимірювального коромисла, стабільності притискання щупа та чистоті поверхні, з якою він контактує.

Основними джерелами похибки у вимірювальній системі є похибка індуктивних перетворювачів, похибка базування оправки на конічній різьбі,

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

люфти у напрямних і шарнірах, пружні деформації вимірювального вузла, а також похибка дискретного позиціонування труби.

Для зменшення впливу цих факторів у конструкції необхідно забезпечити жорстке кріплення корпусу датчиків, повторюване встановлення оправки та стабільне зусилля контакту щупа з контрольованою поверхнею.

Таблиця 3.3 – Фактори, що впливають на точність вимірювання

Фактор	Можливий вплив	Спосіб зменшення впливу
Неточне базування оправки	Зміщення базової осі та систематична похибка	Очищення різьби, контроль затягування, використання змінних втулок
Люфт у шарнірі коромисла	Коливання показів датчика	Застосування точних посадок і попереднього натягу
Електричні завади від двигуна	Нестабільні покази IP1 та IP2	Екранування кабелів, фільтри, розділення силових і сигнальних ліній
Прослизання фрикційного ролика	Похибка кутового положення труби	Правильний вибір зусилля притискання та стану гумового шару ролика
Температурний дрейф датчиків	Зміна нульового рівня сигналу	Прогрів приладу та періодичне нульове налаштування

Доцільно передбачити програмну перевірку достовірності вимірювання. Якщо різниця між двома послідовними вимірювальними циклами перевищує

допустиме значення, система повинна повідомити оператора про необхідність повторного нульового налаштування або перевірки встановлення деталі.

3.7 Наукові дослідження та математичне моделювання

Вплив відхилення від співвісності на кутове переміщення товстостінного циліндра.

Динаміку системи привід-функціональна частина при надаванні останній кутового переміщення можна описати як:

$$M = J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + k \frac{d\varphi}{dt} + c\varphi$$

де $\varphi(t)$ – кутове переміщення, M – привідний момент, J – момент інерції системи, k – коефіцієнт тертя, c – коефіцієнт відпруження вала.

Момент інерції рухомої частини обчислюється з врахуванням форми та маси об'єкта і від положення відносно нього осі обертання.

У стандартних випадках (циліндр, труба, куля, тощо), коли вісь проходить через центр ваги – значення моментів подаються у довідковій літературі.

Розглянемо випадок відхилення від співвісності, коли вісь симетрії товстостінного циліндра не співпадає із віссю обертання.

Зокрема, момент інерції циліндра, вісь обертання якого співпадає із віссю його симетрії – знайдемо із довідника:

$$J_1 = \frac{m(r_1^2 + r_2^2)}{2}$$

Моменту інерції циліндра, вісь обертання якого зміщена на h і паралельна із віссю його симетрії обчислимо за теоремою Штейнера:

$$j(x) = j_0 + mh^2$$

де h - відхилення від співвісності, j_0 – момент інерції даного циліндра відносно осі, що співпадає з віссю симетрії.

Таким чином

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		46

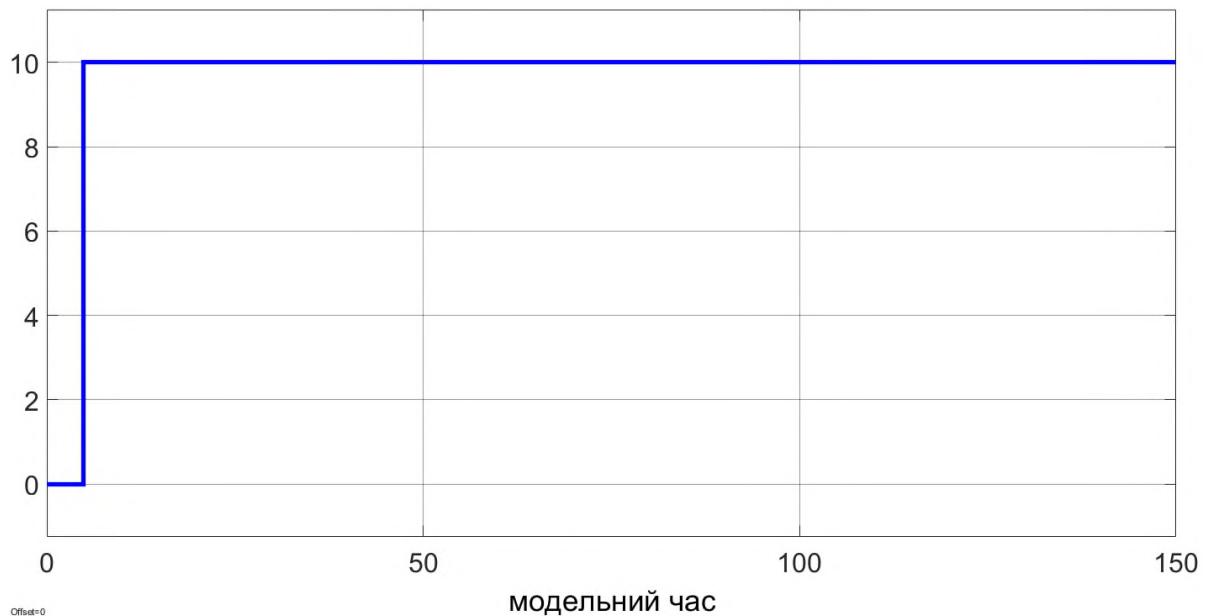


Рисунок 3.6- Форма сигналу $\frac{M}{J}$

Результати моделювання - кутове переміщення досліджуваного зразка рис. 3.7 і кутова швидкість рис. 3.8 – для випадку правильного налаштування (сині криві) і при наявності відхилення від співвісності (червоні криві) приведені нижче.

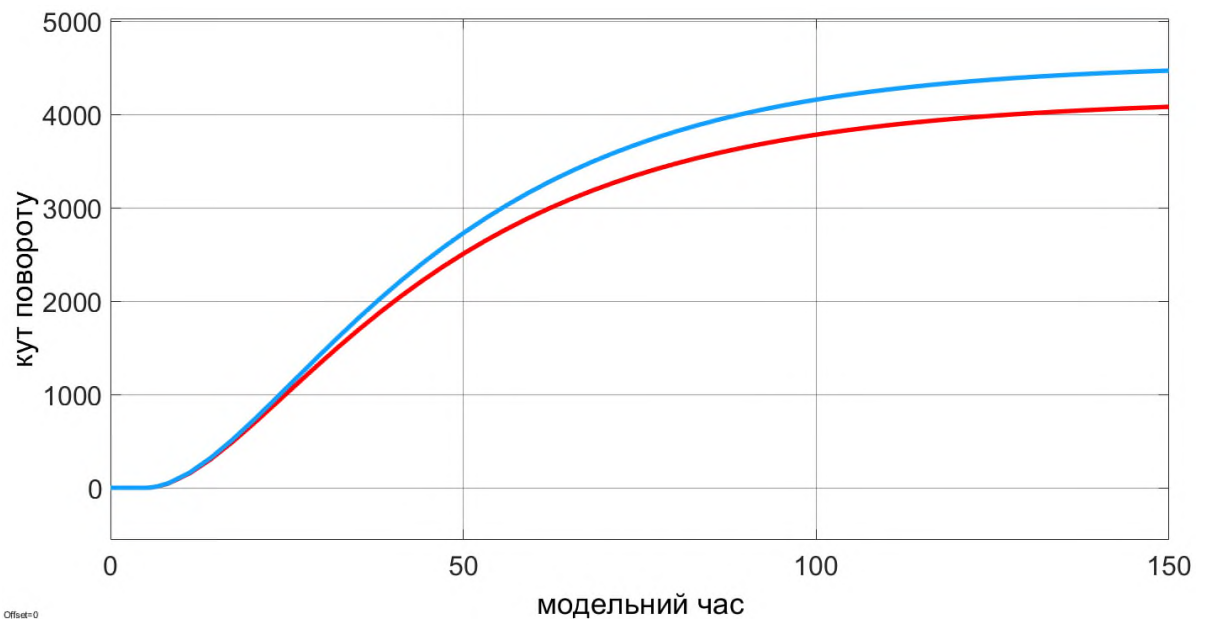


Рисунок 3.7 Симуляція кутового переміщення досліджуваного зразка

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

4 Охорона праці

Розроблений пристрій призначений для контролю відхилення від співвісності циліндричних поверхонь і конічних різьб бурових труб. Роботи з вимірювання виконуються у виробничих приміщеннях машинобудівних підприємств, ремонтних цехах та лабораторіях технічного контролю.

Під час проведення вимірювань на працівника можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- травмування внаслідок падіння або перекидання важких бурових труб;
- механічні пошкодження рук під час встановлення та фіксації деталей;
- наявність гострих крайок, задирок та дефектів на поверхнях труб;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищене фізичне навантаження під час переміщення виробів;
- ураження електричним струмом від електрообладнання робочого місця;
- підвищений рівень шуму та вібрацій від працюючого технологічного обладнання.

Для зниження ризику виникнення нещасних випадків необхідно забезпечити дотримання вимог охорони праці, правил експлуатації вимірювального обладнання та використання засобів індивідуального захисту.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком вимірювань оператор повинен перевірити справність пристрою, надійність кріплення індикаторів та стан опорних елементів. Робоче місце необхідно очистити від сторонніх предметів та забезпечити достатнє освітлення.

Під час встановлення бурових труб необхідно використовувати підйимально-транспортні механізми, що відповідають масі виробу. Забороняється виконувати вимірювання при ненадійному закріпленні контрольованої деталі.

Працівник повинен бути забезпечений спецодягом, захисним взуттям та рукавицями відповідно до вимог чинних нормативних документів.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		50

Вимоги безпеки під час виконання вимірювань

Під час роботи необхідно контролювати стійкість положення труби та не допускати її зміщення. Забороняється виконувати регулювання або перестановку вимірювального пристрою при можливості самовільного переміщення деталі.

При роботі з індикаторами годинникового типу слід уникати надмірних навантажень на вимірювальний наконечник, оскільки це може призвести до його пошкодження або отримання помилкових результатів вимірювання.

Оператор повинен підтримувати порядок на робочому місці, не допускати захаращення проходів та забезпечувати вільний доступ до засобів пожежогасіння і аварійного виходу.

У разі виявлення несправності пристрою або допоміжного обладнання робота повинна бути негайно припинена до усунення виявлених недоліків.

Електробезпека

Вимірювальний пристрій не містить потужних електричних кіл, проте під час роботи можуть використовуватися освітлювальні прилади та допоміжне електрообладнання. Усі металеві корпуси електротехнічних засобів повинні бути заземлені відповідно до вимог нормативних документів.

Електричні кабелі повинні мати справну ізоляцію та бути захищеними від механічних пошкоджень. Забороняється виконувати роботи з електрообладнанням в умовах підвищеної вологості або при наявності пошкодженої ізоляції.

Пожежна безпека

Приміщення, в якому виконуються вимірювання, повинно відповідати вимогам пожежної безпеки. Робоче місце необхідно обладнати первинними засобами пожежогасіння, зокрема порошковими або вуглекислотними вогнегасниками.

Забороняється зберігати легкозаймисті матеріали поблизу електрообладнання та джерел нагрівання. Працівники повинні знати порядок дій у разі виникнення пожежі та шляхи евакуації з приміщення.

Заходи з безпеки життєдіяльності

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		51

Безпека життєдіяльності працівників забезпечується дотриманням вимог охорони праці, проведенням інструктажів, навчанням безпечним методам роботи та систематичним контролем технічного стану обладнання.

Для запобігання виробничому травматизму необхідно регулярно проводити перевірку справності вимірювального пристрою, використовувати тільки справний інструмент та дотримуватись установлених технологічних процесів. Виконання зазначених заходів дозволяє забезпечити безпечні умови праці, зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій та підвищити надійність проведення вимірювань.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		52

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра виконано розроблення пристрою для вимірювання відхилення від співвісності циліндричної поверхні та конічної різьби бурових труб типу В/24. Проведено аналіз існуючих методів і засобів контролю співвісності різьбових з'єднань, а також розглянуто конструкцію пристрою-аналога, захищеного авторським свідоцтвом АС 162081.

У результаті виконаної роботи запропоновано удосконалену конструкцію вимірювального пристрою, яка дозволяє одночасно визначати кутову та лінійну складові неспіввісності. Конструкція містить оправку з поворотною обоймою, систему напрямних елементів, вимірювальний вузол та два взаємно перпендикулярні індикатори, що забезпечують реєстрацію параметрів відхилення з високою точністю.

Розроблений пристрій дає можливість отримувати більш повну інформацію про технічний стан різьбового з'єднання порівняно з існуючими аналогами, підвищує достовірність результатів контролю та спрощує процес проведення вимірювань. Завдяки одночасному контролю кутової неспіввісності та радіального биття забезпечується підвищення якості оцінювання геометричних параметрів бурових труб.

У роботі розглянуто принцип роботи пристрою, виконано необхідні конструкторські та технічні розрахунки, розроблено комплект конструкторської документації. Також опрацьовано питання охорони праці та безпеки життєдіяльності під час виконання вимірювальних робіт.

Отримані результати можуть бути використані на підприємствах машинобудівної та нафтогазової галузей для контролю якості бурових труб і різьбових з'єднань, що сприятиме підвищенню надійності їх експлуатації, зменшенню кількості дефектів та запобіганню аварійним ситуаціям під час роботи бурового обладнання.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		53

Таким чином, поставлена мета роботи досягнута, а розроблений пристрій відповідає вимогам щодо точності, надійності та ефективності контролю співвісності циліндричних поверхонь і конічних різьб.

У спеціальній частині розроблено функціональну та принципову електричну схеми пристрою для вимірювання відхилення від співвісності циліндричної поверхні і конічної різьби. Функціональна схема відображає послідовність взаємодії механічного приводу, вимірювального вузла, індуктивних перетворювачів та системи обробки інформації. Принципова електрична схема показує структуру живлення, керування кроковим двигуном, підключення датчиків і передавання результатів на індикатор або ПК.

Побудована S-модель дозволяє оцінити вплив відхилення від співвісності на динаміку процесу кутового переміщення товстостінного циліндра при заданих конкретних значеннях робочих параметрів: значень привідного моменту, коефіцієнтів тертя і відпружнення вала, маси і геометричних розмірів досліджуваного зразка.

Запропонована система дозволяє виконувати вимірювання в автоматизованому режимі: труба дискретно повертається на заданий кут, після зупинки зчитуються покази двох вимірювальних каналів, а отримані дані перетворюються у лінійну і кутову складові неспіввісності. Такий підхід підвищує інформативність контролю та створює умови для зменшення випадкових похибок, пов'язаних з ручним зчитуванням показів.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 ДСТУ ISO 1101:2020. Геометричні характеристики виробів (GPS). Геометричні допуски. Допуски форми, орієнтації, розташування та биття. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 128 с.

2 ДСТУ ISO 8015:2016. Геометричні характеристики виробів (GPS). Основні положення. Поняття, принципи та правила. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 42 с.

3 ДСТУ ISO 14253-1:2020. Геометричні характеристики виробів (GPS). Контроль виробів і вимірювального обладнання. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 36 с.

4 Ковальчук В. М. Метрологія, стандартизація і сертифікація : підручник. – Львів : Новий Світ-2000, 2021. – 376 с.

5 Дорожовець М. Г. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань : навчальний посібник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2022. – 324 с.

6 Стадник Б. І., Мотало В. П., Ковальчик А. О. Метрологія та вимірювальна техніка : навчальний посібник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 284 с.

7 Бичківський Р. В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація : підручник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 512 с.

8 Гриценко І. С. Технічні вимірювання в машинобудуванні : навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

9 Калашніков О. В. Контрольно-вимірювальні прилади та основи метрології : навчальний посібник. – Харків : Факт, 2021. – 310 с.

10 Groover M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials, Processes and Systems. – 8th ed. – Hoboken : Wiley, 2024. – 816 p.

11 Kalpakjian S., Schmid S. Manufacturing Engineering and Technology. – 8th ed. – Pearson Education, 2022. – 1180 p.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		55

- 12 Farago F. T., Curtis M. A. Handbook of Dimensional Measurement. – 6th ed. – Industrial Press, 2021. – 864 p.
- 13 Dotson C. Fundamentals of Dimensional Metrology. – 7th ed. – Cengage Learning, 2022. – 640 p.
- 14 Jain R. K. Engineering Metrology. – New Delhi : Khanna Publishers, 2021. – 432 p.
- 15 ASME Y14.5-2018. Dimensioning and Tolerancing. – New York : American Society of Mechanical Engineers, 2018. – 344 p.
- 16 Petroleum and Natural Gas Industries – Drill Pipe – Technical Delivery Conditions. ISO 11961:2018. – Geneva : International Organization for Standardization, 2018. – 148 p.
- 17 API Specification 5DP. Specification for Drill Pipe. – 8th ed. – Washington : American Petroleum Institute, 2023. – 212 p.
- 18 Будзинський В. Б. Основи конструювання вимірювальних пристроїв : навчальний посібник. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2021. – 210 с.
- 19 Павлишин М. І. Вимірювальні перетворювачі та засоби контролю : навчальний посібник. – Львів : Сполом, 2022. – 286 с.
- 20 Довбуш Т. М. Методи та засоби контролю геометричних параметрів деталей машин : монографія. – Івано-Франківськ : Факел, 2023. – 268 с.
- 21 Деталі і механізми приладів. Довідник / Б. М. Уваров і ін. — К.: Техніка, 1987. — 343 с.

					КБР 032.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		56

