

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"
Приладобудівний факультет

**Методичні вказівки до виконання
лабораторних робіт з дисципліни
«КОНСТРУЮВАННЯ ПРИЛАДІВ»
для студентів напрямку 6.051003 «Приладобудування»**

Ухвалено Вченою радою
приладобудівного факультету
Протокол № 4/13 від 29.04.2013 р.

**КИЇВ
2013**

Бондар П. М., Мураховський С.А.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Конструювання приладів» для студентів напряму 6.051003 «Приладобудування» / Уклад. П.М. Бондар, С.А. Мураховський. – електронне видання, 2013. – 30 с.

Методичні вказівки складаються з описів 3-х лабораторних робіт, що передбачені навчальною програмою дисципліни «Конструювання приладів» за темами «Пружні елементи приладів», «Напрямні для обертального й поступального руху». В описах робіт зазначено мета і завдання досліджень, характеристики обладнання та методику проведення робіт, вимоги до оформлення протоколів.

Укладачі Бондар Павло Михайлович, доцент, к.т.н.
 Мураховський Сергій Анатолійович, ст.викл.

Відповідальний редактор
 Степанковський Юрій Володимирович, доцент, к.т.н.

Рецензент
 Антонюк Віктор Степанович, професор, д.т.н.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Техніка безпеки при виконанні лабораторних робіт	6
1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОМЕНТНИХ СПІРАЛЬНИХ ПРУЖИН.....	7
1.1. Мета роботи.....	7
1.2. Загальні відомості	7
1.3. Опис лабораторної установки.....	9
1.4. Порядок виконання роботи.....	11
1.5. Зміст звіту	13
1.6. Контрольні запитання.....	13
1.7. Література	13
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАНОМЕТРИЧНИХ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ	14
2.1. Мета роботи.....	14
2.2. Загальні відомості	14
2.3. Опис лабораторної установки.....	19
2.4. Порядок виконання роботи.....	21
2.5. Зміст звіту	22
2.6. Контрольні питання і завдання.....	22
2.7. Література	22
3. ДОСЛІДЖЕННЯ МОМЕНТА ТЕРТЯ У ШАРИКОПІДШИПНИКАХ	23
3.1. Мета роботи.....	23
3.2. Загальні відомості	23
3.3. Опис лабораторної установки.....	28
3.4. Порядок виконання роботи.....	28
3.5. Зміст звіту	29
3.6. Контрольні питання.....	29
3.7. Література	30

ВСТУП

Навчальною програмою дисципліни "Конструювання приладів" передбачено виконання лабораторних робіт загальним обсягом 18 годин. Дані методичні вказівки включають лабораторні роботи за темами: «Пружні елементи приладів», «Напрявні для обертального й поступального руху». Метою лабораторних робіт є поглиблення розуміння природи деяких фізичних законів та явищ, зокрема гіроскопічних, вивчення використання цих законів при побудові приладів орієнтації та навігації, придбання навичок експериментального дослідження приладів та методів обробки результатів експериментальних досліджень. Лабораторні роботи - це форма учбових занять, які передбачують значну самостійність студентів.

Передбачено наступні стадії виконання кожної лабораторної роботи:

1. Самостійна підготовка до виконання кожної лабораторної роботи;
2. Виконання роботи в лабораторії під керівництвом викладача;
3. Оформлення звіту з лабораторної роботи.

Самостійна підготовка складається з ознайомлення з досліджуваним фізичним явищем, основами теорії випробуваного приладу, у засвоєнні змісту роботи. Студент зобов'язаний знати всі необхідні по програмі характеристики, продумати і пояснити порядок зняття тої або іншої характеристики, техніку необхідних вимірів.

Кожний студент заздалегідь підготовляє протокол майбутньої роботи (схеми і таблиці вимірюваних величин), у який під час роботи вносяться необхідні результати вимірів і необхідні розрахунки. Для успішного виконання лабораторної роботи корисно заздалегідь ознайомитися також зі схемою лабораторної установки, приладами і устаткуванням, установленим на робочому місці. По остаточно оформленій роботі (з усіма графіками і висновками) студент звітує перед викладачем.

Перед початком лабораторної роботи викладач перевіряє готовність

студента до майбутньої роботи. При незадовільній підготовці студент до роботи не допускається.

Перш ніж приступити до виконання роботи, студенти зобов'язані ознайомитися з робочим місцем: щитом живлення, включенням і вимиканням напруг на робочому місці, з'ясувати величину подаваної напруги і його характер. У нашій лабораторії на лицьовій панелі робочого стола виведені клеми 28 В постійного струму, напруга змінного струму 220 В, 50 Гц, а також 36 В, 400 Гц (три фази). Студенти мають право включити напругу тільки з дозволу викладача.

Показання вимірювальних приладів заносяться в заздалегідь підготовлену чернетку після того, як всі необхідні умови проведення досліду будуть виконані. Потім на чернетці у відповідному масштабі будують графіки досліду. У більшості випадків саме розташування точок кривій може вказати на неточність ряду вимірів, помилки у вимірах, недотримання умов проведення досліду і т.п. Точки, що випали, повинні бути перевірені ще раз. У деяких випадках для зменшення погрішності доцільно повністю кілька разів повторити дослід і взяти для кожної точки середнє значення. Результати дослідів показують викладачу, після чого можна переходити до наступного пункту випробувань. Вид обов'язків кожного студента в різних досвідах варто міняти з таким розрахунком, щоб всі студенти бригади набули більш повні навички.

Після закінчення проведення лабораторної роботи результати випробувань із чернетки заносять до підготовленого звіту.

Звіт виконується на окремих аркушах розміром А4 або в зошиті. Він повинен мати титульний аркуш, на якому записуються: назва лабораторної роботи, прізвище і ініціали студента, група, курс і факультет, дата проведення роботи, прізвище і ініціали викладача. Далі слідує: кінематична або електрична схема, дані вимірювальних приладів; приводяться: програма роботи, результати досліджень у формі таблиць і графіків, розрахунки, оцінка погрішності, допущеної при проведенні вимірів, і виводи по роботі.

При цьому виводи повинні базуватися на отриманих результатах і бути зіставлені з теоретичними. Звіт по лабораторній роботі складається самостійно кожним студентом і здається викладачу перед початком чергової роботи. Студенти, що не здали звіту по виконаній роботі, до чергової роботи не допускаються.

Робота вважається закінченою після здачі викладачеві звіту по роботі і позитивній співбесіді з ним.

Техніка безпеки при виконанні лабораторних робіт

Студенти, що вперше проходять курс у лабораторії, зобов'язані прослухати інструкцію з техніки безпеки, дотримуватись якої потрібно протягом виконання усього циклу лабораторних робіт. Студенти, що не пройшли інструктаж з техніки безпеки в лабораторії, до занять не допускаються.

В лабораторії, де виконуються роботи, забороняється доторкатися до неізольованих частин сполучних провідників і контактів. Напруга змінного струму 220В є небезпечною для життя. Забороняється також залишати лабораторну установку і прилади без догляду.

Категорично забороняється самостійно вмикати, перестроювати і переставляти прилади, які знаходяться в лабораторії і не входять до лабораторного обладнання даного циклу робіт.

У випадку поразки током, обриву проводів, що перебувають під напругою, і інших екстрених випадках необхідно негайно відключити напругу.

Невиконання правил техніки безпеки може призвести до травм, виходу з ладу досить дорогих приладів.

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОМЕНТНИХ СПІРАЛЬНИХ ПРУЖИН

1.1. Мета роботи

Ознайомлення з областями застосування моментних спіральних пружин у приладах, а також визначення розрахунковим та експериментальним методами протидіючого моменту пружини, її жорсткості і чисельного значення модуля пружності матеріалу.

1.2. Загальні відомості

Спіральна пружина (волосок) є плоскою стрічкою, що зігнута за спіраллю, витки якої за будь-якого її положення під час роботи не дотикаються один до одного. Волосок є однією з відповідальних деталей. Від якості його виготовлення і способу закріплення залежить точність роботи приладу.

Моменті спіральні пружини використовують для вимірювання і реєстрації крутильних та лінійних коливань у вимірювальних приладах, у коливальних системах приладів часу, а також для створення сталого натягу між елементами приладу.

Від моментних спіральних пружин вимагається: старість жорсткості, сталість пружних властивостей з часом, малий температурний коефіцієнт модулю пружності, мінімальна величина залишкових деформацій, корозійна стійкість, певні магнітні та електричні властивості. Виконання цих вимог забезпечується вибором відповідних матеріалів.

Момент сил пружності спіральної пружини (рис. 1), яку закручено на кут φ , можна визначати за формулою

$$M_{\text{пр}} = \frac{J_x E}{L} \varphi \quad (1)$$

де J_x - момент інерції перерізу пружини, м^4 ; E - модуль пружності першого роду, Па; L - довжина пружини, м; φ - кут закрутки, рад.

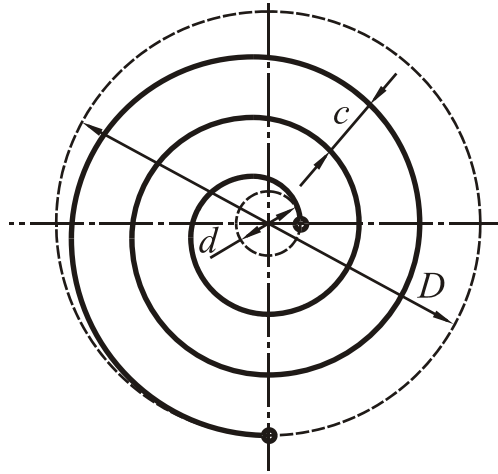


Рис. 1 Спиральна пружина

Моментні спіральні пружини сталого перерізу ($J_x = \text{const}$; $J_x E / L = \text{const}$) мають лінійну пружну характеристику, у зв'язку з чим, за заданих значень модуля пружності E і моменту інерції J_x , жорсткість пружини і величину моменту, відповідного заданому куту закрутки φ , можна змінювати шляхом змінювання довжини пружини.

Розрахунок пружини полягає у визначенні її розмірів - ширини b , висоти h і довжини l . Це забезпечує за певних кутів закрутки відповідний Протидіючий момент, що перевищує величину зведеного до пружини моменту сил опору:

$$M_{\text{пр}} = \frac{J_x E}{L} \varphi \geq M_{\text{п.с.}} \quad (2)$$

З умови міцності найбільший момент дорівнюватиме :

$$M_{\text{пр}} = \frac{bh^2}{6} \frac{\sigma_{\text{в}}}{K} \quad (3)$$

де K - коефіцієнт запасу міцності, величину якого для забезпечення сталості пружних властивостей пружини з часом вибирають у межах $K \geq 1.0 - 2.0$.

Довжину волоска легко обчислити через інші геометричні розміри

$$L = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4c} \quad (4)$$

де c - відстань між геометричними осями сусідніх витків пружини (крок пружини).

Здійснюючи заміну $c = K_1 h$, в наслідок сумісного розв'язку відносно h рівнянь (2), (3), (4), одержимо:

$$h = 0,5 \sqrt{\frac{(D^2 - d^2) \pi \sigma_B}{2 K K_1 E \varphi}} \quad (5)$$

Діаметри D і d моментної спіральної пружини обирають конструктивно у залежності від габаритів механізму і потрібної величини - моменту пружини. При $M_{пр} \leq 10^{-4}$ Нм значення D і d вибирають за умов:

$$D = 14 \dots 16 \text{ мм.} \quad d \sim 4 \dots 5 \text{ мм.}$$

1.3. Опис лабораторної установки

На рис. 2 подано загальний вигляд експериментальної установки для лабораторних випробувань моментних спіральних пружин. Внутрішній кінець (колодка) випробуваного волоска закріплений у валику приладу 3. Кінець зовнішнього витка волоска закріплений у затискачі 6, який встановлений на колесі 5. Валик 3 є віссю коромисла 8. Для зменшення тертя валик встановлено у шарикопідшипникових опорах. На коромислі 8 через кожні 10 мм зроблені виїмки для фіксації важків навантаження 1. Шкала 2 призначена для установаження у нульове положення коромисла 8. За допомогою черв'яка 9 і зубчастого колеса 5 здійснюється закрутка моментної спіральної пружини на кут φ . Відлік кута закрутки здійснюється відносно нерухомого індексу 4.

Перед початком роботи прилад виставляється в площині горизонту за допомогою гвинтів 10. При проведенні вимірювань кінець коромисла навантажується важками і опускається. Для приведення його у початкове положення спіральну пружину закручують за допомогою черв'ячної передачі.

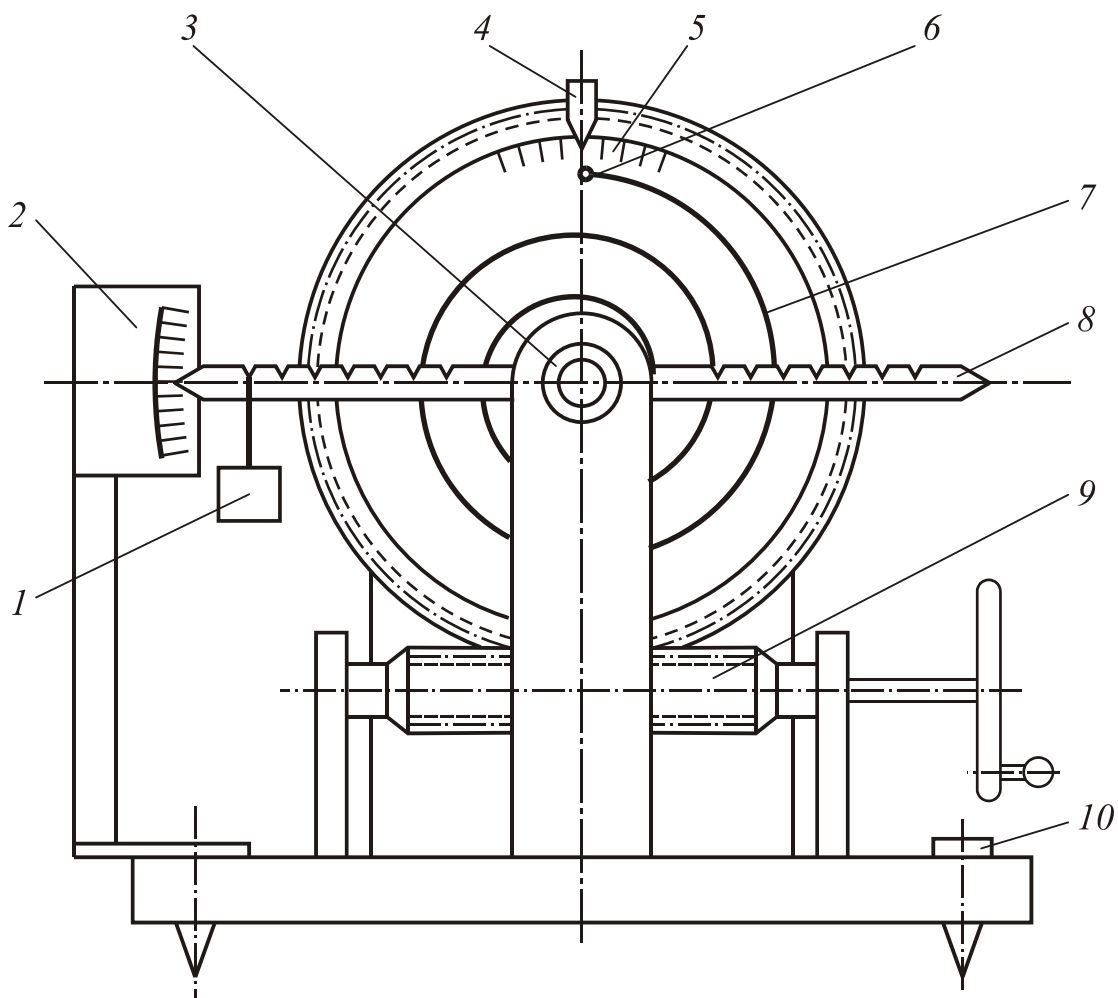


Рис. 2 Лабораторна установка

1 – важки; 2 – шкала; 3 – вісь; 4 – індекс; 5 – черв'ячне колесо; 6 – затискач; 7 – спіральна пружина; 8 – коромисло; 9 – черв'як; 10 – гвинт регульовальний.

Внаслідок цього закручена пружина створює момент $M_{\text{пр}}$, що врівноважує момент вантажу і протидіючий момент тертя шарикопідшипникової опори валика

$$M_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} \varphi_1 = M_{\text{гр}} + \Delta M_{\text{тр}} \quad (6)$$

За часткового розвантаження пружини (переносу важків ближче до осі обертання коромисла) кінець коромисла підіймається догори. При приведенні його у початкове положення момент пружини буде врівноважувати вже різницю між моментом вантажу і моментом тертя в опорі

$$M_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} \varphi_2 = M_{\text{гр}} - \Delta M_{\text{тр}} \quad (7)$$

Порівнюючи співвідношення (6) і (7) можна побачити, що при тому ж самому значенні моменту, що утворюється вантажем, величина кута закрутки φ_2 повинна бути меншою за φ_1 . Порівнюючи експериментально одержані величини φ_1 і φ_2 за однакового $M_{\text{гр}}$, легко визначити момент тертя у шарикопідшипниковій опорі і врахувати його при побудові пружної характеристики моментної спіральної пружини.

1.4. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією лабораторної установки, здійснити кілька пробних переміщень коромисла і зубчастого колеса.

2. Визначити розміри досліджуваної моментної спіральної пружини; - зовнішній діаметр D , діаметр колодки d , довжину пружини L , ширину і товщину b і h стрічки пружини. Заміри розмірів поперечного перетину виконати мікрометром, а діаметрів D і d - за допомогою шаблону з нанесеними на ньому концентричними колами. Довжину пружини визначити за формулою

$$L = \frac{\pi n}{2} (D + d) \quad (8)$$

3. Визначити експериментальні залежності $\varphi_1 = f(M_{\text{гр}})$ і $\varphi_2 = f(M_{\text{гр}})$ шляхом навантаження і розвантаження спіральної пружини. Для цього, обертаючи черв'як 9, встановити коромисло у нульове положення за шкалою 9, записати Показ шкали на колесі 5 відносно індексу 4 і вважати це значення кута нульовим. Потім закрутити моментну пружину на фіксовані кути φ'_1 , $\varphi'_2, \dots, \varphi'_{\text{max}}$. Навантажуючи коромисло важками, обережно підвести його до нульового положення і зафіксувати величину прикладеного протидіючого моменту.

Змінюючи величину прикладеного моменту за рахунок кількості і точки кріплення важків, добитися повороту коромисла на кут φ_2 . За допомогою черв'яка 9 обережно підвести коромисло до нульового положення і

зафіксувати кут повороту колеса 5. Результати експерименту занести у таблицю 1.

Таблиця 1

пп	Вимірювана величина	Одиниця вимірювання	Експериментальні дані				
1.	Вага важку, P	Г					
2.	Плече коромисла, L	см					
3.	Момент важку, $M_{гр}$	Гсм					
4.	Кут закрутки при навантаженні, φ_1	град					
5.	Кут закрутки при розвантаженні, φ_2	град					
6.	$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$	град					
7.	Модуль пружності, E	Па					
8.	Жорсткість пружини, K	Гсм/град					
9.	Момент тертя, $M_{тр}$	Гсм					

4. За даними таблиці 1 побудувати графіки залежності моментів навантаження від кута закрутки для навантаження і розвантаження моментної пружини.

5. Користуючись табличними даними і формулою (1) обчислити середнє значення модуля пружності матеріалу пружини. Підрахувати жорсткість волоска.

6. Обчислити середнє значення величини моменту тертя шарикопідшипникової опори коромисла.

7. Використовуючи одержане значення жорсткості спіральної пружини, побудувати розрахункову пружну характеристику досліджуваної пружини,

1.5. Зміст звіту

У звіті повинні бути подані ескіз досліджуваної спіральної моментної пружини, результати обміру пружини, дані експериментів і необхідні графіки.

1.6. Контрольні запитання

1. Назвіть області застосування моментних спіральних пружин.
2. Які вимоги ставляться до матеріалів пружин?
3. Як впливає спосіб закріплення кінців пружини на її роботу?
4. Як забезпечується регулювання жорсткості моментної спіральної пружини?
5. Чому у спіральних пружинах завжди виконується співвідношення $b \gg h$?

1.7. Література

1. Нестеренко А.Д., Орнатский П.П. Детали и узлы приборов. - К.: Техника, 1966. - 432 с.
2. Милосердин Ю.В., Лакин Ю.Г. Расчет и конструирование механизмов приборов и установок. - М.: Машиностроение, 1978. - 486 с.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАНОМЕТРИЧНИХ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

2.1. Мета роботи

Метою роботи є ознайомлення з конструктивними різновидами манометричних пружних елементів і експериментальне визначення пружних властивостей мембран і сільфонів.

2.2. Загальні відомості

Манометричні пружні елементи знайшли широке застосування у приладобудуванні як чутливі елементи приладів для вимірювання тиску, а також як роздільники двох середовищ (герметизаторів).

Мембрани та мембранні коробки застосовуються як пружні чутливі елементи при вимірюванні тиску у межах від 10^2 до 10^7 Па. Мембрана являє собою круглу гнучку пластинку, яка жорстко закріплена по периферії. У більшості випадків у мембрани є жорсткий центр, тобто до неї припаяна або приварена кругла пластинка, на якій укріплено пристрій, що зв'язує мембрану з передавально-множним механізмом.

Мембрани за їх геометричною формою розподіляють на плоскі, гофровані і гофровані з крайовим гофром (рис. 1 а-в).

Часто гофровані мембрани з крайовим гофром з'єднують у мембранну коробку. Робочий діаметр мембран коливається у межах від 10 до 300 мм. Діаметр жорсткого центру у металевих мембран складає 0,1...0,5 від робочого діаметру. Товщина мембрани невелика - 0,06... 1,5 мм.

Найбільш розповсюдженими формами гофрів є синусоподібна, пілкоподібна, трапецієподібна і плоско дугова (рис. 1 г-ж).

Плоскі мембрани застосовують у тих випадках, коли робочий хід складає малу частку товщини мембрани, а зусилля з боку передавально-

множного механізму практично відсутні. Якщо від пружного чутливого елемента вимагається якомога більший робочий хід, то застосовують гофровані мембрани.



Рис. 2.1. Основні профілі мембран

а – плоска; б – гофрована; в – з крайовим гофрам; г – синусоподібна; д – пилкоподібна; е – трапецієподібна; ж – плоско дугова.

Всі металеві мембрани мають нелінійну характеристику $l=f(p)$, де l - переміщення центру мембрани, а p - вимірюваний тиск. Початкова ділянка характеристики частіше всього лінійна, але потім крива повільно згасає. Ця обставина пояснюється характером деформації мембран. При малих прогинах $l < h$, де h - товщина мембрани, переміщення мембрани здійснюється в основному за рахунок згинальних деформацій. Середня площина, яка рівновіддалена від поверхні мембрани, майже не подовжується, і характеристика мембрани є лінійною. При наступному збільшенні навантаження на мембрану її прогин стає сумірним з товщиною. Середня площина мембрани одержує значне подовження, що приводить до появи в ній напруг розтягання σ_p , сумірних з напругами згинання σ_u . Характеристика мембрани стає згасаючою.

Якщо порівняти характеристики мембран різного типу, але виготовлених з одного й того ж матеріалу і однаковим значенням робочого діаметру, діаметру жорсткого центра і товщини, то виявиться (див. рис. 2.2), що найбільше згасання має плоска мембрана (крива 1). Характеристика гофрованої мембрани без крайового гофру, а також мембрани з циліндричним крайовим гофром (крива 2) подібна до характеристики плоскої мембрани, але має менше згасання і відповідно більш довгу лінійну ділянку. При цьому жорсткість таких мембран в більшій мірі залежить від глибини і форми гофрів, при одній і тій ж товщині матеріалу, але у

будь-якому випадку початкова жорсткість мембрани зі збільшенням глибини гофрів збільшується, а нелінійність характеристики зменшується. Характеристика з тороїдальним крайовим гофром (крива 3) має початкову ділянку з від'ємною кривизною.

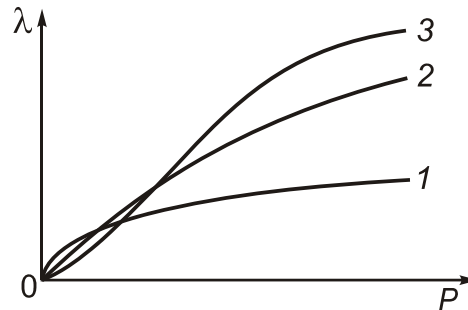


Рис. 2.2. Пружні характеристики мембран

Зіставлення приведених кривих свідчить про те, що в межах початкової ділянки характеристики найбільшу чутливість має плоска мембрана, а найменшу мембрана з тороїдальним гофром.

Рівняння характеристики плоскої мембрани без жорсткого центра має вигляд:

$$\frac{pR^4}{Eh^4} = 5,86 \frac{\lambda}{h} + 3,58 \left(\frac{\lambda}{h} \right)^3. \quad (9)$$

Звідси випливає, що лінійна частка характеристики знаходиться у межах $\frac{\lambda}{h} < 0,5$. Якщо $\frac{\lambda}{h} < 0,5$ то кубічним членом формули (9) можна знехтувати та визначити прогин мембрани без жорсткого центру за формулою

$$\lambda = \frac{pR^4}{5,86Eh^3} \quad (10)$$

Прогин мембрани з жорстким центром у цьому випадку визначають за формулою

$$\lambda = A_p \frac{pR^4}{Eh^3} \quad (11)$$

де $A_p = \frac{3(1-\mu^2)}{16} \cdot \frac{C^4 - 1 - 4C^2 \ln C}{C^4}$; r - радіус жорсткого центра; R - радіус

мембрани; $C = \frac{R}{r}$; μ - коефіцієнт Пуасона.

Величину прогину гофрованої мембрани в залежності від тиску можна визначити, використавши таке рівняння:

$$\frac{pR^4}{Eh^4} = A \frac{\lambda}{h} + B \left(\frac{\lambda}{h} \right)^3, \quad (12)$$

де A і B - коефіцієнти, які залежать від форми та розмірів гофрів.

Сильфонами називають тонкостінні циліндричні трубки з глибоким поперечним гофруванням. Під дією осової сили або тиску вони здатні створювати значні переміщення, маючи при цьому лінійну пружну характеристику.

За методом виготовлення сильфони прийнято поділяти на суцільнотягнуті (рис. 5а) та зварні (рис. 5б).

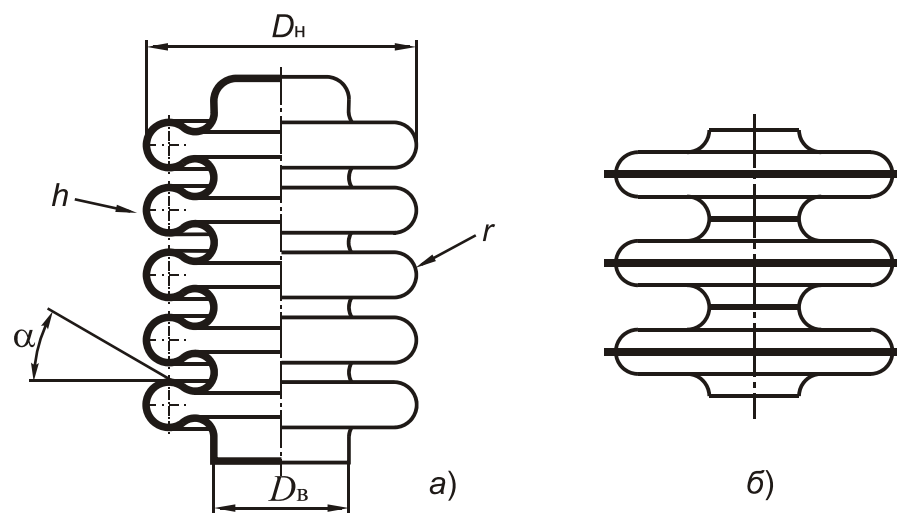


Рис. 2.3. Типи сильфонів.
а – суцільнотягнутий; б – зварний.

Суцільнотягнуті сильфони значно компактніші зварних, так як при однаковій кількості гофрів та однаковому зовнішньому діаметрі вони значно коротші зварних. Однак суцільнотягнуті сильфони мають гірші пружні властивості, оскільки одержання глибокого гофрування зв'язано з необхідністю застосовувати відпал матеріалу заготовки. Недоліками зварних сильфонів є низька корозійна стійкість, пов'язана з великою кількістю зварних швів.

Суцільнотягнуті сильфони виготовляють з латуні Л80 або бронз з дисперсійним твердінням типу БрБ 2. Сильфони, які працюють у агресивних середовищах, виготовляються з сталі 1Х18Н9Т.

Головною перевагою сифонів у порівнянні з мембранами є більший робочий хід, що суттєво спрощує конструкцію передавально-множного механізму.

Сифони часто використовують як манометричні чутливі елементи, і також гнучкі герметизувальні перегородки, наприклад, для компенсації температурного розширення рідини.

У вимірювальних приладах та автоматичі використовують сифони з кількістю гофрів $n = 2 - 40$, зовнішнім діаметром $D_H = 7 - 150$ мм, товщиною стінки $h = 0,08 - 0,3$ мм.

З достатньою точністю характеристика сифона є пряма лінія, що проходить крізь початок координат (рис.6). Для прямолінійної частки характеристики жорсткість сифона $k = \frac{P}{\lambda}$ залишається постійною. При надмірному підвищенні тиску або надмірній величині зовнішніх навантажувальних сил з'являється залишкова деформація сифона, тобто відбувається явище, аналогічне осадку витків гвинтової циліндричної пружини. Жорсткість сифона при цьому різко зростає. Цей процес відображується на характеристиці точками A і B .

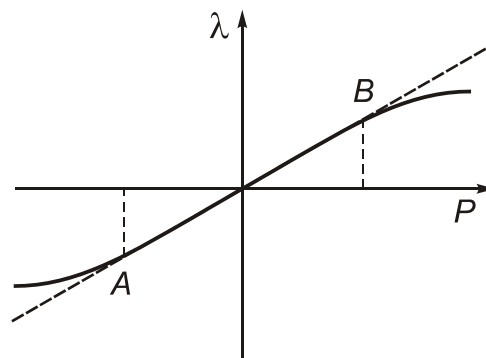


Рис. 2.4. Зона лінійності пружної характеристики

Для визначення переміщення сифона під дією тиску зазвичай використовують формулу, отриману на основі енергетичного методу Ритца проф. Феодосьєвим В.І.:

$$\lambda = pF_{ef} \frac{1 - \mu^2}{Eh_0} \cdot \frac{n}{A_0 - \alpha A_1 + \alpha^2 A_2 + Bh_0^2 / R_b^2} \quad (13)$$

Тут F_{ef} - ефективна площа сифона, яка дорівнює

$$F_{ef} = \left(\frac{D_H + D_B}{4} \right)^2;$$

A_0, A_1, A_2, B - коефіцієнти, які залежать від параметрів сільфона

$C = R_H/R_B$ та $m = r/R_B$; α - кут ущільнення.

Якщо радіус закріплення гофрів R значно менший за глибину гофрування і кут ущільнення прийняти рівним 0, то формула (13) значно спрощується:

$$\lambda = 2nA_p \frac{pR_H^4}{Eh^3} \quad (14)$$

де A_p - коефіцієнт, який враховує геометрію профілю сільфона.

2.3. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка для дослідження манометричних пружних елементів (рис. 2.5) складається з основи, джерела тиску та пристрою для вимірювання деформувань досліджуваних елементів.

Пружні елементи, які досліджуються (мембрани плоска та гофрована, сільфон), закріплені у металевих стаканах однакових розмірів 1, постачених різьбовими штуцерами.

Стакани з пружним елементом закріплені на торці пустотілого циліндричного повзуна 5, який переміщується відносно кронштейна 6 у вертикальному напрямі за допомогою гвинтової передачі обертанням рукоятки 7. Кронштейн 6 можна переміщувати вздовж циліндричної стойки. У" верхній частині стойки змонтована сигнальна лампа 2, а також контактна пластина 3. Електричне коло, яке живиться від елемента з напругою 4.5 В, замикається при зімкненні контактної пластини з жорстким центром досліджуваного пружного елемента. Контакт забезпечується переміщенням по. напрямній повзуна 5, а величина переміщення фіксується за допомогою індикатора.

Тиск до пружного елемента, який досліджується, подається через штуцер, закріплений на боковій поверхні повзуна 5. Вимірювання величини тиску здійснюється за допомогою манометра.

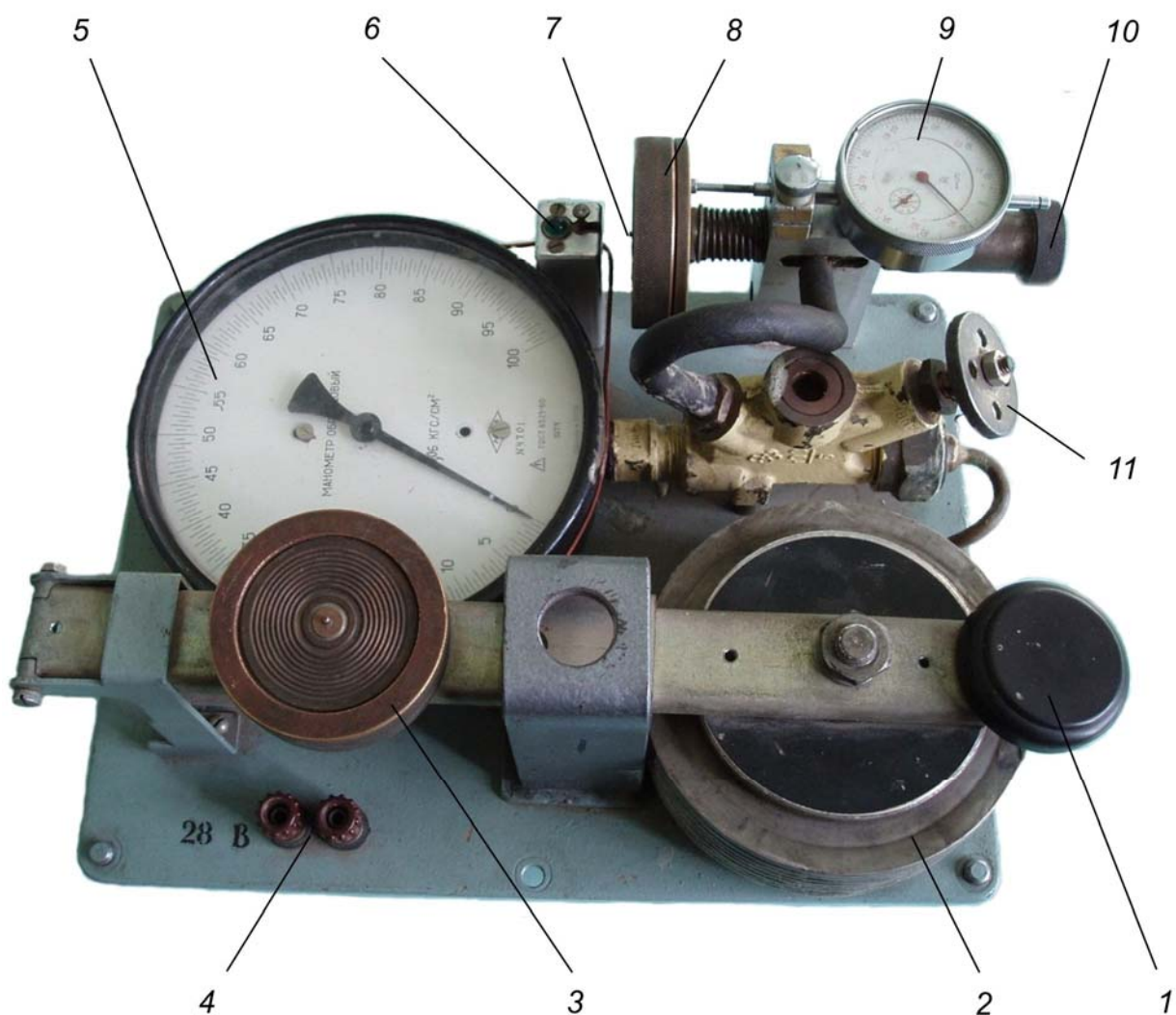


Рис. 2.5. Лабораторна установка

1 – важіль; 2 – сиффон; 3 – стакан; 4 – клєми; 5 – манометр; 6 – сигнальна лампа; 7 – контактна пластинка; 8 – досліджуваний елемент; 9 – індикатор; 10 – ручка повзуна; 11 – штицер.

2.4. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією лабораторної установки та підготувати її до проведення досліджень. Для цього установити стакан з плоскою мембраною та перевірити відсутність витікання повітря через ущільнення гвинтового штуцера. Обертанням рукоятки 7 встановити повзун 5 у середнє положення, а потім перемістити кронштейн 6 таким чином, щоб зазор між контактною пластиною 3 та жорстким центром мембрани не перевищував одного - двох міліметрів. Плавнo обертаячи рукоятку 7, добитися зіткнення жорсткого центру з контактною пластиною. Після цього встановити шкалу індикатора у нульове положення та перемістити стакан з мембраною на 1-2 мм.

2. Визначити залежність деформації плоскої мембрани від конкретних значень надмірного тиску P . Для цього подати в повітряну магістраль установки тиск P , величина якого визначається викладачем у залежності від геометричних розмірів мембрани, яка досліджується. Обертанням рукоятки 7 добитися зіткнення між контактною пластиною та жорстким центром, відрахувати величину деформації за шкалою індикатора. Відвести стакан та збільшити тиск. Потім провести вимірювання деформації мембрани у відповідності з приведеною вище методикою. Повторити дослід при ступінчатому зміненні тиску до максимального значення.

3. Встановити на лабораторній установці стакан з гофрованою мембраною та підготувати установку до роботи. Потім провести експериментальне дослідження у відповідності з методикою, приведеною в п.2.

4. Побудувати графік пружної характеристики мембрани та обчислити значення жорсткості на лінійній частині при максимальному тиску. Порівняти одержані значення для плоскої та гофрованої мембран.

5. Визначити ефективну площину мембрани. Для цього вибрати будь-який робочий тиск P та зафіксувати положення жорсткого центру мембрани. Потім поставити на нього контрольний вантаж та, підвищуючи тиск, відновити початкове положення центра. Величина ефективної площини

визначається як відношення ваги вантажу до величини вимірюваного приросту тиску ΔP .

6. Використовуючи методику, приведену в пп. 1,2,5, побудувати пружну характеристику сільфона та визначити його ефективну площину. Результати експериментальних досліджень порівняти з розрахованими, здобутими з використанням емпіричної формули (13а).

2.5. Зміст звіту

У звіті повинні бути наведені ескізи досліджуваних пружних елементів, таблиця експериментальних даних та побудовані графіки пружних характеристик, а також результати перевірки співпадання експериментальних та розрахункових даних, та висновки по роботі.

2.6. Контрольні питання і завдання

1. Назвіть різновиди геометричної форми мембран.
2. Як впливає геометрія профілю мембран на вигляд пружної характеристики?
3. Чим пояснюється нелінійний характер пружної характеристики?
4. Дайте визначення ефективної площини мембрани.
5. Назвіть переваги та недоліки сільфонів у порівнянні з мембранами.
6. Які існують методи виготовлення сільфонів?

2.7. Література

1. Пятин Ю.М. Проектирование элементов измерительных приборов. -М.: Высш. шк., 1977. - 274 с.
2. Андреева Л.Е., Костюк А.П., Вишневецкий Е.А. Упругие элементм приборов. -М.; Машгиз, 1962. - 244 с.
- Середа В.Т., и др. Расчет и конструирование точных механизмов. Лабораторные работы. -К.: Вища шк., 1978. -248 с.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ МОМЕНТА ТЕРТЯ У ШАРИКОПІДШИПНИКАХ

3.1. Мета роботи

Ознайомлення з основними методами контролю моменту тертя шарикопідшипників у приладах та встановлення залежностей моменту тертя від величини осевого та радіального навантажень.

3.2. Загальні відомості

Найважливішим параметром шарикопідшипників у приладах є момент тертя або, точніше, збурюючий момент підшипника, який заважає обертанню. Збурюючі моменти навантаженого шарикопідшипника можна розділити на два типи:

- моменти тертя, які розсіюють енергію, тобто дисипативні;
- моменти, які не розсіюють енергію, тобто збурюючі моменти від консервативних сил.

Головними компонентами дисипативних моментів є момент тертя кочення, виникаючий внаслідок перекочування шариків по доріжкам кочення, момент тертя ковзання (обертання), виникаючий на площині контакту шарика з кільцями та у місцях його зіткнення з сепаратором, момент в'язкого тертя мастила та інше.

Причиною виникнення консервативних моментів є похибки геометричної форми деталей шарикопідшипників: овальність, огранювання кілець, шариків, різнорозмірність шариків, хвилястість доріжок кочення, забрудненість та ін.

Величини дисипативних моментів шарикопідшипників у значній мірі залежать від величини та напрямку навантаження, кількості та в'язкості мастила, швидкості обертання рухомого кільця, температури та тиску навколишнього середовища, зовнішнього магнітного поля, класу точності, терміну роботи опор та ін.

Моменти опору при постійному русі відносно сталі, але у них можуть з'являтися дискретні високочастотні флуктуації, особливо характерні для легко навантажених шарикопідшипників приладів.

У зв'язку зі складністю природи тертя кочення теоретичну оцінку збудуючих моментів шарикопідшипників можна дати лише приблизно до визначення конкретних умов експлуатації. Оскільки теоретичні формули не враховують багатозначність причин, які впливають на величину збудуючих моментів, у експлуатаційних умовах вирішальне значення при визначенні моментів тертя належить експерименту. Тому на практиці частіше використовують емпіричні залежності, які отримані на основі досліджень конкретних типів підшипників.

Момент тертя стандартних радіальних однорядних шарикопідшипників малих розмірів, особливо при значному недонавантаженні, обчислюють за формулою

$$M_{\text{тр}} = M_0 + \mu(1,25R + 1,5A) \frac{D_0}{d_{\text{ш}}}, \quad (15)$$

де M_0 - момент тертя ненавантаженого шарикопідшипника, визначений класом точності підшипника та діаметром посадочного отвору внутрішнього кільця d (рис. 8); $\mu = 0,0003 \dots 0,0007$ - коефіцієнт тертя кочення; D_0 - діаметр центрів шариків; $d_{\text{ш}}$ - діаметр шариків; A та R - осьова та радіальна складові навантаження відповідно.

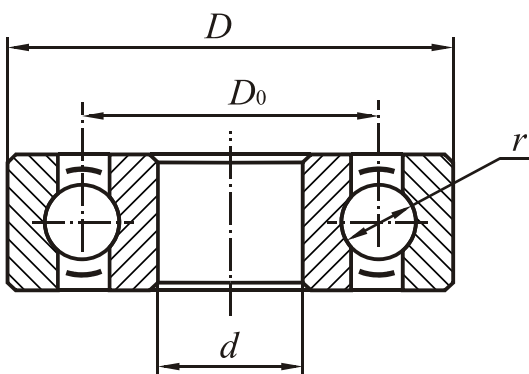


Рис. 3.1. Шарикопідшипник

За формулою (15) можна приблизно визначати величину моменту руху, тобто моменту, необхідного для підтримки мінімальної кутової швидкості обертання вала, встановленого на підшипник. Момент руху більше (приблизно у 1,2...1,4 рази) збудуючого моменту шарикопідшипника

при постійному обертанні кілець з малими кутовими швидкостями.

Широке розповсюдження набула оцінка моментів тертя шарикопідшипників за допомогою експериментально отриманих приведених коефіцієнтів тертя.

Приведений коефіцієнт тертя кочення шарикопідшипника - умовна величина, яка дорівнює коефіцієнту тертя у відповідному йому підшипнику ковзання, тобто має радіус цапфи, який дорівнює радіусу посадочного отвору внутрішнього кільця шарикопідшипника або радіусу доріжки кочення внутрішнього кільця шарикопідшипника. Момент тертя при цьому дорівнює:

$$M_{тр} = f_{пр} R \frac{d}{2} \quad (16)$$

де $f_{пр}$ - приведений коефіцієнт тертя, який дорівнює для шарикопідшипників: при радіальному навантаженні однорядних радіальних - 0,002; радіально-упорних - 0,003; при комбінованому навантаженні радіальних однорядних - 0,004, радіально-упорних - 0,005.

Існує декілька методів експериментального визначення моментів тертя шарикопідшипників. Простішим методом контролю тертя у підшипниках є перевірка на легкість та тривалість обертання. Контрольований підшипник насаджується внутрішнім кільцем на циліндричну оправку, потім зовнішнє кільце вручну приводиться до руху контролером. Цей метод недосконалий, тому що висновок контролера про якість підшипника має суб'єктивний характер і не дозволяє визначити величину моменту тертя.

Більш досконалими способами визначення моментів тертя є їх перевірка на спеціальних пристроях - пневматичних, маятникового типу, та ін.

При дослідженні шарикопідшипників приладів широко застосовують метод вибігу, розроблений російським вченим Н.П.Петровим у 1884 р. Сутність метода полягає у наступному: підшипнику, який знаходиться під навантаженням, надається обертання. Під дією моменту тертя швидкість обертання з часом буде зменшуватись. За значенням втрат швидкості обертання за визначений термін можна судити про момент тертя. Головна перевага метода вибігу у тому, що після відключення привода тіло, яке обертається, вільне від будь-яких зовнішніх збурень. Рух тіла здійснюється по інерції та гаситься тільки внаслідок тертя у опорах та тертя о повітря. Рівняння руху тіла, що обертається, при вибігу має вигляд

$$\frac{J\omega^2}{2} = M_c \varphi, \quad (17)$$

де J - момент інерції тіла, що обертається; ω - кутова швидкість обертання; M_c - момент опору обертанню; φ - кут повороту за час вибігу.

У загальному випадку сумарний момент опору обертанню можна представити у вигляді

$$M_c = M_T + k\omega + r\omega^2.$$

При обертанні з малою кутовою швидкістю вплив другого та третього членів суми можна зневажити. З урахуванням цього рівняння (17) спростити:

$$J\dot{\omega} = M_T.$$

Інтегруючи отримане рівняння у відповідних межах, одержимо

$$M_T = -J \frac{\omega_0}{T},$$

де ω_0 - кутова швидкість обертання на початку вибігу; T - час вибігу.

У зв'язку з тим, що визначення початкової швидкості режиму вибігу зв'язано з рядом труднощів, визначимо рівну до неї швидкість у кінці розгону, який здійснюється за допомогою тягарцю G у відповідності зі схемою рис.9.

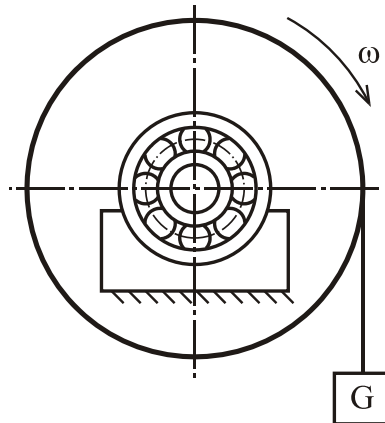


Рис. 9. Схема визначення моменту тертя

Рівняння руху при розгоні тіла можна записати у вигляді

$$J\dot{\omega} = GR - m\dot{\omega}R^2 - M_T.$$

Після інтегрування у межах від 0 до t отримаємо

$$(mR^2 + J)\omega = (GR - M_T)t.$$

Після повторного інтегрування рівняння (19) набуде вигляд

$$(mR^2 + J)\varphi = (GR - M_T)\frac{t^2}{2}, \quad (20)$$

де φ - кут повороту тіла.

Вираз (20) дозволяє визначити час t_1 першого повороту тіла, за який відбувається його розгін. Для цього потрібно підставити у (20) значення $\varphi = 2\pi$ та вирішити його відносно $t = t_1$. В результаті отримаємо

$$t_1 = 2\sqrt{\frac{\pi(mR^2 + J)}{GR - M_T}}. \quad (21)$$

Підставивши знайдене значення у вираз (19) та розв'язавши його відносно ω , отримаємо формулу для визначення кутової швидкості у кінці першого обороту тіла:

$$\omega_1 = 2\sqrt{\frac{\pi(GR - M_T)}{mR^2 + J}}. \quad (22)$$

Маючи на увазі те, що $M_T \ll GR$ формулу (22) можна спростити

$$\omega_1 = 2\sqrt{\frac{\pi GR}{mR^2 + J}}. \quad (23)$$

Після підстановки у формулу (18) значення $\omega_0 = \omega_1$ отримаємо вираз для визначення моменту опору

$$M_T = 2\frac{J}{T}\sqrt{\frac{\pi GR}{mR^2 + J}}. \quad (24)$$

тут T - час, який вимірюється секундоміром з моменту скидання вантажу до повної зупинки тіла, що обертається; G - вантаж; R - радіус тіла, що обертається у перерізі, який охоплюється ниткою.

3.3. Опис лабораторної установки

Шарикопідшипники, що перевіряються, встановлені зовнішніми кільцями у розточки двох стоек 1, закріплених на основі лабораторної установки (рис. 10).

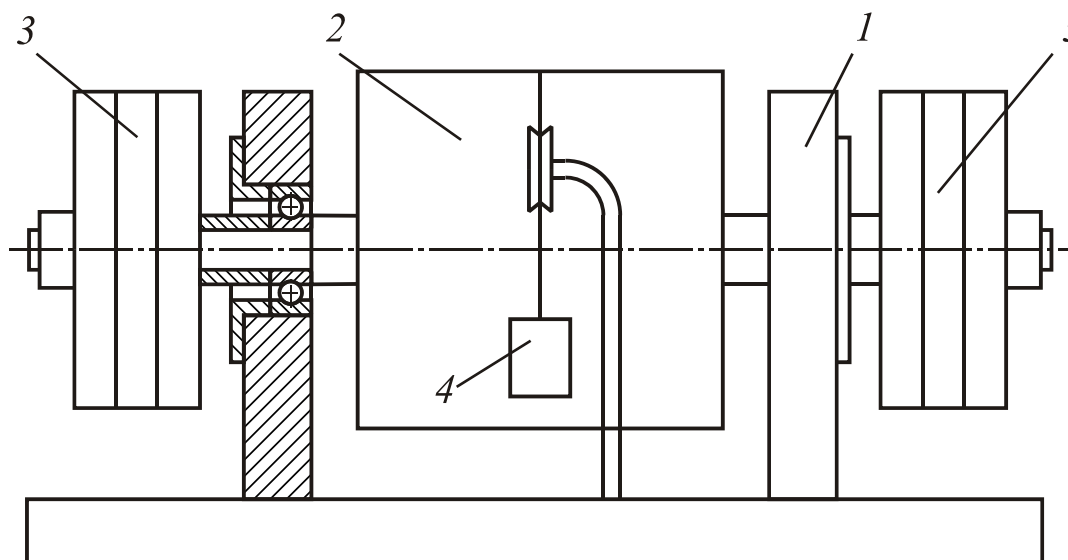


Рис. 10. Схема лабораторної установки.

1 – стійка; 2 – вал з маховиком; 3 – навантажувальні диски; 4 – тягарець.

У внутрішніх кільцях шарикопідшипників закріплений вал з маховиком 2. На цьому валу з обох боків можуть закріплюватися також навантажувальні диски 3. Початкова швидкість обертання надається валу тягарцем 4, з'єднаним з маховиком ниткою, яка намотана на маховик.

Конструкція лабораторної установки дозволяє встановлювати вісь обертання валу у горизонтальне або вертикальне положення.

3.4. Порядок виконання роботи

1. Встановити вісь обертання вала у горизонтальне положення, зняти навантажувальні диски. Визначити момент тертя у парі шарикопідшипників, що досліджуються, при радіальному навантаженні, що відповідає вазі маховика 2. Для цього розігнати маховик за допомогою тягарця, прийнявши кут охоплення ниткою маховика 360° . Величину моменту тертя визначити за формулою (24).

2. Встановити вісь обертання вала у вертикальне положення та визначити момент тертя при осьовому навантаженні підшипників.

3. Закріпити на валу установки два навантажувальних диска вагою по 0.5 кг, та провести вимірювання моменту тертя у відповідності з методикою, що подана у п.1 та 2.

4. Послідовно змінюючи вагу рухомої частини лабораторної установки, визначити залежність моменту тертя від величини осьового та радіального навантаження. При проведенні дослідів врахувати, що при закріпленні навантажувальних дисків зростає як навантаження, що сприймається підшипниками, так і момент інерції маховика.

5. Визначити приведені коефіцієнти тертя у підшипнику при осьовому та радіальному навантаженні. Результати розрахунків та дослідів звести у таблицю.

Примітка: Для більш точного визначення величини моменту опору необхідно провести 3-5 однакових дослідів та обчислити середнє значення.

3.5. Зміст звіту

У звіті повинні бути представлені таблиці експериментальних даних, результати розрахунків моментів тертя, приведені коефіцієнти тертя, графіки залежності моменту тертя від величини осьового та радіального навантаження.

3.6. Контрольні питання

1. Назвіть основні типи підшипників кочення, які використовуються у приладобудуванні.

2. Які фактори впливають на величину та характер моменту опору шарикопідшипників приладів?

3. Що таке приведений коефіцієнт тертя шарикопідшипника?

4. Назвіть шляхи зменшення моментів тертя у шарикопідшипниках приладів?

5. Чому дорівнює завантаженість однорядного радіального шарикопідшипника, на який діє одночасно радіальна сила 50 Н та осьова -70 Н?

3.7. Література

1. Никитин Е.А., Шестов С.А., Матвеев В.А. Гироскопические системы, ч.Ш: Элементы гироскопических приборов. -М.: Высш. шк., 1988.-432 с.
2. Ковалев М.П., Сивоконенко И.М., Явленский К.Н. Опоры приборов -М.: Машиностроение, 1967. - 238 с.
3. Детали и механизмы приборов. Справочник. Под. ред. Орнатского П.П. К: Техніка, 1978. - 264 с.