

Лабораторна робота №1

Тема роботи: Експериментальне визначення параметрів механічних систем металургійного устаткування

Мета роботи: ознайомитися з основними етапами розв'язання динамічних задач; вивчити методи експериментального визначення параметрів механічних систем.

Теоретичні положення

У загальному випадку рішення динамічних задач передбачається виконання таких основних етапів: 1) вибір фізичної моделі реальної механічної системи; 2) визначення зовнішніх сил, прикладених до механічної системи; 3) складання диференціальних рівнянь, які описують рух розглянутої механічної системи (математичної моделі); 4) визначення власних частот коливань механічної системи; 5) визначення законів переміщення і швидкостей точок механічної системи; 6) визначення сил (пар сил) і напружень, що виникають в пружних зв'язках розраховується механічної системи.

Найважливішим етапом, що передує теоретичному вивченню динамічних процесів, які відбуваються в реальній механічній системі, є схематизація цієї системи. Схематизація реальної механічної системи полягає у виборі ідеалізованої фізичної моделі, правильно відображає поведінку цієї системи.

Для дослідження динамічних процесів в механічних системах металургійного устаткування задовільними є два види схематизації:

- 1) динамічні моделі або схеми з зосередженими параметрами (дискретні моделі);
- 2) динамічні моделі або схеми з розподіленими параметрами (безперервні моделі).

Параметрами реальної механічної системи є маси і жорсткості складових її ланок. У загальному випадку використовують позначення: a - коефіцієнт інерції, іноді званий приведеної масою; c - коефіцієнт жорсткості, або узагальнений коефіцієнт жорсткості. У розрахункових схемах параметри є приведеними величинами. Приведення проводиться на підставі рівності загальної енергії реальної і наведеної систем.

Коефіцієнти жорсткості c визначають методами теорії опору матеріалів. Так, наприклад, під коефіцієнтом жорсткості при крученні розуміють момент крутіння $M_{кр}$, що закручує вал на кут $\varphi = 1$ рад.:

$$c = \frac{M_{кр}}{\varphi}. \quad (1)$$

Коефіцієнт жорсткості ділянки вала постійного перетину визначають за формулою

$$c = \frac{GI_p}{l}, \quad (2)$$

де $G = 0,5E/(1 + \mu)$ - модуль зсуву матеріалу вала, $H/мм^2$;

E - модуль пружності матеріалу вала (для сталі можна прийняти $E = 2,1810 H/мм^2$);

μ - коефіцієнт Пуассона матеріалу вала (для сталі $\mu = 0,3$);

I_p - полярний момент інерції перетину вала, $мм^4$;

l - довжина ділянки вала, що закручується, $м$.

Під коефіцієнтом жорсткості при розтягуванні (стисканні) розуміють силу P , що викликає подовження (укорочення) стрижня на величину $l = 1 мм$:

$$c = \frac{P}{l}. \quad (3)$$

Коефіцієнт жорсткості ділянки стрижня постійного перетину при розтягуванні (стисканні) визначають за формулою

$$c = \frac{EF}{l}, \quad (4)$$

де F - площа поперечного перерізу ділянки стрижня, $мм^2$;

l - довжина ділянки стрижня перетином F , $м$.

Величину, зворотну жорсткості, називають піддатливістю:

$$e = \frac{1}{c}. \quad (5)$$

При розрахунках валів (стрижнів) з ділянками різного перерізу більш зручно користуватися піддатливістю, так як загальна піддатливість вала дорівнює сумі піддатливості окремих його i -х ділянок:

$$e_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^N e_i. \quad (6)$$

Коефіцієнти жорсткості при згині пружних балок визначають залежно від схеми закріплення балки і розташування на ній зосередженого вантажу.

Коефіцієнт інерції є мірою інерції матеріальної точки і вимірюється в одиницях, що відповідають її поступальному або обертальному руху, відповідно $кг$ або $кг \cdot м^2$.

Моментом інерції щодо осі, яка проходить через центр ваги, називають суму добутків маси окремих частинок тіла на квадрат відстані відповідної частки до осі обертання:

$$I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2. \quad (7)$$

У практичних розрахунках часто використовують формулу

$$I = m\rho^2, \quad (8)$$

де ρ - радіус інерції, дорівнює відстані, на якому треба помістити масу тіла, щоб задовольнити умові

$$\sum_{i=1}^N m_i r_i^2 = m\rho^2. \quad (9)$$

Якщо вісь обертання не проходить через центр мас тіла, то радіус інерції визначається з рівності

$$\rho^2 = \rho_0^2 + a^2, \quad (10)$$

де ρ_0 - радіус інерції відносно центру мас, m ;

a - відстань від центру мас до осі обертання, m .

Радіус інерції для суцільного вала можна визначити з залежності $\rho^2 = R^2/2$, а для пустотілого вала $\rho^2 = (R^2 + r^2)/2$, де R і r - для пустотілого вала.

Визначення моментів інерції деталей складної форми розрахунковим способом може бути вельми складно. В цьому випадку моменти інерції можуть бути визначені експериментально методом крутильних коливань, маятникових коливань, методом падаючого вантажу і ін. [1].

Метод крутильних коливань. Тіло обертання підвішується на сталевому дроті довжиною l . Інший кінець дроту жорстко закріплюється в опорі (рис.1). При цьому необхідно забезпечити сувору вертикальність осі обертання. Провід з підвішеною деталлю закручують з положення рівноваги на деякий кут і підраховують число z повних коливань, що здійснюються деталлю за досить великий проміжок часу t .

Нехтуючи загасанням коливань, момент інерції визначають за формулою

$$I = T^2 c / 4\pi^2, \quad (11)$$

де $T = t/z$ - період повного коливання, c ;

c - направляючий момент дроту, що викликає закручування на кут в один радіан (величина жорсткості), $H \cdot m / \text{рад}$.

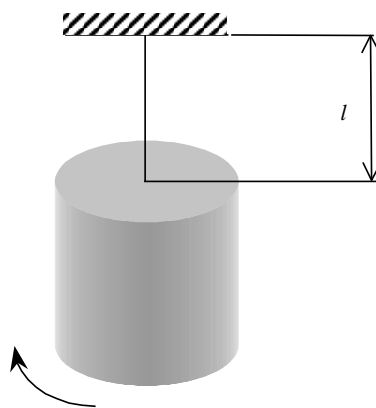


Рисунок 1 - Визначення моменту інерції методом крутильних коливань

Значення c можна визначити за розмірами дроту відповідно до формули (2). Оскільки отримати точну величину модуля зсуву G складно, жорсткість в окремих випадках доцільніше визначати експериментально, вимірюючи момент крутіння M , необхідний для закручування дроту з положення рівноваги на кут φ .

Метод маятникових коливань. Деталь прикріплюється дротом до відрізка кутовий сталі (рис. 2) так, щоб вершина куточка могла бути використана як призма, щодо якої деталь могла б коливатися. Обидва кінці отриманого маятника спираються на горизонтальні металеві опори таким чином, щоб деталь могла здійснювати коливання відносно точок опори. Момент інерції деталі щодо осі, що збігається з вершиною куточка, при нехтуванні моментом інерції останнього, складе:

$$I_d = G_0 d T^2 / 4\pi^2, \quad (12)$$

де G_0 - вага деталі, H ;

d - відстань між віссю деталі і віссю коливання, mm ;

T - період одного коливання, s .

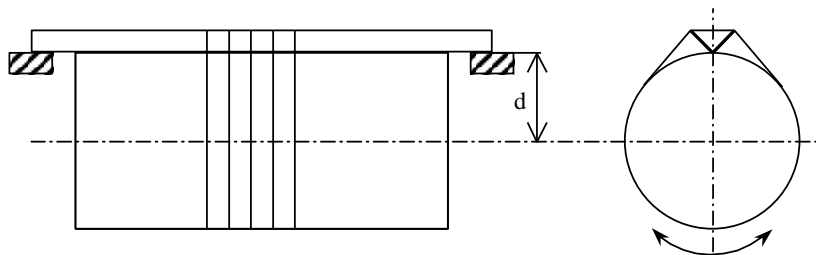


Рисунок 2 - Визначення моменту інерції методом маятникових коливань

Визначивши експериментально I_d , можна знайти квадрат радіуса інерції:

$$gdT^2 / 4\pi^2, \quad (13)$$

де g - прискорення вільного падіння, m/c^2 .

Дійсне значення радіуса інерції самої деталі може бути знайдено з виразу (0):

$$\rho_{o2} = \rho^2 - d^2. \quad (14)$$

У підсумку момент інерції складе:

$$I = \frac{G}{g} \left(g \frac{dT^2}{4\pi^2} - d^2 \right) = G \left(\frac{dT^2}{4\pi^2} - \frac{d^2}{g} \right). \quad (15)$$

Метод падаючого вантажу. Даний метод дозволяє визначити момент інерції деталі, не витягуючи її попередньо з складального вузла, наприклад, визначити момент інерції ротора електродвигуна без його розбирання.

На кінець вала або на шків, закріплений на валу, навивають кілька витків шнура. Іншому кінцю шнура з прикріпленим до нього вантажем дають можливість опускатися. Під час експерименту вимірюють час t , за яке вантаж опускається на висоту h зі свого початкового положення.

Момент інерції обчислюється в цьому випадку за формулою

$$I = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right), \quad (16)$$

де m - маса вантажу, кг;

r - радіус кінця вала або шківа, на який навивається шнур, мм.

Лабораторне обладнання

Тарувальний ключ з насадкою, затискний пристрій, вимірювальний інструмент, секундомір, рівнополочний куточок, набір деталей металургійного устаткування.

Порядок виконання роботи

- 1 Перевірити готовність установки до роботи.
- 2 Зробити експерименти по визначенню коефіцієнта жорсткості запропонованої деталі обертання, закручуючи її за допомогою тарувального ключа і фіксуючи кут закручування від положення рівноваги.
- 3 Розрахувати коефіцієнти жорсткості деталей за формулами теорії опору матеріалів, порівняти отримані результати з результатами експериментів.
- 4 Визначити моменти інерції деталей обертання методом гойдання і методом падаючого вантажу.
- 5 Розрахувати моменти інерції деталей за формулами 7 - 8, порівняти отримані значення з результатами відповідних експериментів.

Зміст звіту

- 1 Найменування і мета роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 Результати експериментального і теоретичного визначення коефіцієнтів жорсткості, висновки про зіставлення отриманих результатів.

4 Результати експериментального і теоретичного визначення моментів інерції деталей обертання, висновки про зіставлення отриманих результатів.

Контрольні питання

- 1 Вкажіть основні етапи розв'язання динамічних задач.
- 2 Що розуміють під фізичною та математичною моделями?
- 3 Дайте визначення жорсткості та піддатливості.
- 4 Наведіть формули для розрахунку жорсткості при крученні і стисненні.
- 5 Як визначається жорсткість при згині?
- 6 Дайте визначення моменту інерції маси.
- 7 Що розуміють під радіусом інерції?
- 8 Як визначити момент інерції, якщо вісь обертання не проходить через центр мас тіла?
- 9 У чому полягає визначення моментів інерції методом крутильних коливань?
- 10 У чому полягає визначення моментів інерції методом маятникових коливань?
- 11 У чому полягає визначення моментів інерції методом падаючого вантажу?