

Лабораторна робота №2

Тема роботи: Дослідження динамічних навантажень в канатах механізму підйому вантажу

Мета роботи: дослідити різні випадки динамічного навантаження механізму підйому вантажу, експериментально і аналітично визначити динамічні навантаження в канатах.

Теоретичні положення

В якості найпростішої фізичної моделі механізму може бути прийнята двохмасова лінійна система з одним ступенем вільності. Така схема при порівняно простих математичних викладках дає точність першого наближення, яка задовольняє практичним розрахунками [2].

Тут одна кінцева маса - це приведена маса обертових частин механізму, друга кінцева маса - це приведена маса поступально рухомих частин. До мас прикладені зовнішні навантаження, напрям і величина яких залежать від режиму роботи механізму. На першу масу діє приведена сила прискорення при розгоні або наведена гальмівна сила при гальмуванні першої маси, на другу масу діє приведена сила статичного опору руху і гальмівна сила при гальмуванні другий маси.

Змушуючі сили вважаємо постійними за величиною, коефіцієнт жорсткості також вважаємо постійним.

Розглянемо два режими неусталеної роботи механізму: підйом вгору при відсутності зазорів в кінематичних ланках (підйом «з ваги») і підйом при наявності зазорів (підйом «з підхопленням»).

Підйом «з ваги». При складанні рівнянь руху системи використовуємо прямий спосіб, подумки відокремлюючи маси від без масового силового каркаса (пружного скелета), і для кожної з них записуємо диференціальні рівняння руху, замінюючи дію відкинутих пружних зв'язків їх реакціями. Розрахункова схема системи при підйомі «з ваги» представлена на рис. 1, а.

Диференціальні рівняння руху системи мають вигляд:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 - c(x_2 - x_1) = P_1; \\ m_2 \ddot{x}_2 - c(x_2 - x_1) = P_2, \end{cases} \quad (1)$$

де x_1 і x_2 - лінійні переміщення мас m_1 і m_2 , м;

P_1 і P_2 - змушуючі сили, Н;

c - коефіцієнт жорсткості, Н/мм.

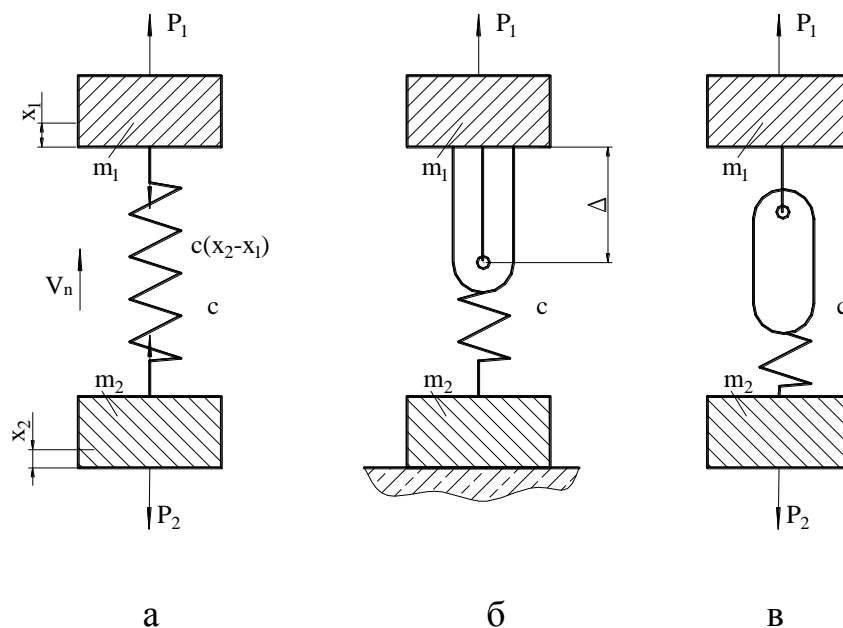


Рисунок 1 - Розрахункова двохмасова схема при підйомі «з ваги» (а) і при підйомі «з підхопленням» (б, в)

Спільне рішення системи рівнянь (1) з урахуванням введення відносних Переміщення x і прискорення \ddot{x} :

$$x = x_2 - x_1; \quad \ddot{x} = \ddot{x}_2 - \ddot{x}_1 \quad (2)$$

дає вихідне диференціальне рівняння для визначення відносного переміщення мас m_1 і m_2 :

$$\ddot{x}_2 - \ddot{x}_1 = -c \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} (x_2 - x_1) + \frac{P_1 m_2 + P_2 m_1}{m_1 m_2} \quad (3)$$

Загальним рішенням рівняння (3) буде:

$$x = x' + x'' = C_1 \sin pt + C_2 \cos pt + x'' \quad (4)$$

де x' , x'' - загальне і часткове рішення рівняння відповідно;

p - власна частота коливань, що визначається за формулою

$$p = \sqrt{\frac{c(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}} \quad (5)$$

Сталі C_1 і C_2 визначаються з початкових умов:

$$C_1 = 0; \quad C_2 = x_0 = \frac{(P_1 - P_2)m_2}{c(m_1 + m_2)}, \quad (6)$$

а часткове рішення -

$$x' = \frac{P_1 m_2 + P_2 m_1}{c(m_1 + m_2)}, \quad (7)$$

Отже,

$$x = \frac{P_1 m_2 + P_2 m_1}{c(m_1 + m_2)} - \frac{(P_1 - P_2)m_2}{c(m_1 + m_2)} \cos pt \quad (8)$$

Через те, що при розгоні завжди виконується нерівність $P_1 > P_2$, відносно переміщення досягне максимального значення в момент, коли $t = \pi / p$ і $\cos pt = -1$:

$$x_{\max} = \frac{2P_1m_2 + P_2(m_1 - m_2)}{c(m_1 + m_2)} = \frac{2(P_1 - P_2)m_2}{c(m_1 + m_2)} + \frac{P_2}{c}, \quad (9)$$

а максимальна відновлююча сила

$$F_{\max} = x_{\max} c. \quad (10)$$

Підйом "з підхопленням". При підйомі «з підхопленням» слід розрізнити три етапи руху мас: 1) маса, рухаючись з початковою швидкістю, вибирає зазор у пружній ланці, що включає в себе приведений зазор і слабіну канатів (рис. 1, б); 2) другий етап охоплює період від початку підхоплення вантажу до моменту виникнення в пружній ланці сили, рівної силі ваги вантажу (рис. 1,в); 3) третій етап характеризується загальним рухом обох мас, тому він аналогічний руху системи при підйомі «з ваги» (див. рис.1,а).

Максимальна сила в пружному зв'язку виникає відразу після удару в системі, тобто на початку третього етапу руху [2]:

$$F_{\max} = \frac{P_1m_2 + P_2m_1}{m_1 + m_2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{(m_1 + m_2)(2P_1c\Delta m_2^2 - P_2m_1)}{(P_1m_2 + P_2m_1)^2}} \right). \quad (11)$$

Формула (10) дає можливість визначити максимальну силу в пружному зв'язку механізму при раптовому відриві вантажу від опори.

Якщо маса обертових частин механізму велика в порівнянні з масою поступально рухомих частин ($m_1 \gg m_2$), то допустимо використовувати відому формулу

$$F_{\max} = P_2 + V_0 \sqrt{c/m_2}, \quad (12)$$

де $V_0 = \sqrt{2P_1\Delta m_1}$ - швидкість до кінця вибірки зазору, мм/с.

Ця формула виходить з формули (11), якщо прийняти $m_1 \rightarrow \infty$.

Коефіцієнт динамічності для обох випадків визначається:

$$K_d = F_{\max} / F_a, \quad (13)$$

де $F_a = (P_1m_2 + P_2m_1)/(m_1 + m_2)$ - амплітуда коливань пружних сил, Н.

Частота і період коливань становлять відповідно:

$$f = p / 2\pi; \quad T = 2\pi / p. \quad (14)$$

Таким чином, залежності (1) - (13) дозволяють визначити динамічні навантаження і частотні характеристики в механізмі підйому вантажу при підйомі «з ваги» і при підйомі «з підхопленням».

Рушійна сила P буде створюватися електродвигуном механізму підйому вантажу:

$$P_1 = N_{\text{об}} \eta / V_n, \quad (15)$$

де $N_{\text{об}}$ - потужність електродвигуна ($N_{\text{об}} = 3$ кВт);

η - к.к.д. передач;

V_n - швидкість підйому вантажу ($V_n = 8$ м/хв).

Сила опору переміщенню визначиться як сума ваги вантажу і ваги підвіски P_n :

$$P_2 = P_{\text{зр}} + P_n. \quad (16)$$

Маса m_1 є результатом приведення маси обертових частин механізму до вантажу (до напрямку його вертикального переміщення):

$$m_1 = \frac{1,25 I_p U^2 K_n^2 \eta}{D_{\text{б}}^2}, \quad (17)$$

де I_p - момент інерції ротора електродвигуна ($I_p = 0,06$ кг·м²);

$U = \omega_{\text{об}} / \omega_{\text{б}} = \pi D_{\text{б}} / V_n K_n$ - передавальне відношення редуктора механізму підйому;

K_n - кратність поліспасти;

$D_{\text{б}}$ - діаметр барабана ($D_{\text{б}} = 250$ мм);

n - частота обертання ротора електродвигуна ($n = 750$ об/хв).

Приведена маса m_2 визначається як сума маси вантажу $m_{\text{зр}}$ і маси підвіски m_n :

$$m_2 = m_{\text{зр}} + m_n. \quad (18)$$

Для вантажу, підвішеного до рухомих блоків одинарного поліспасти кратністю K_n , сумарну жорсткість канатів на ділянці від барабана до підвіски можна визначити

$$c = K E_{\text{к}} F_{\text{к}} / h, \quad (19)$$

де $E_{\text{к}}$ - модуль пружності канату (для канатів з органічним сердечником -

$E_{\text{к}} = 1,10 \dots 1,15 \cdot 10^5$ Н/мм², для канатів з металевим сердечником

$E_{\text{к}} = 1,15 \dots 1,3 \cdot 10^5$ Н/мм²);

$F_{\text{к}}$ - для канатів з металевим сердечником, мм²;

h - вертикальна проекція відстані від осі блоку до місця закріплення канату (рис. 2), мм.

Лабораторне обладнання

Установка для проведення лабораторної роботи включає механізм підйому 1, динамометр 2, тензометричну ланку 3 з датчиками, тензостанцію з осцилографом 4 і вантажі 5 (див. рис. 2).

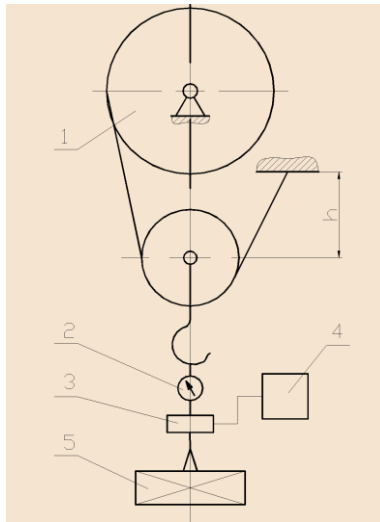


Рисунок 2 - Схема лабораторної установки

Порядок виконання роботи

- 1 Перевірити готовність вимірювальної апаратури.
- 2 Зробити тарування вимірювальної апаратури, запис на осцилографічному папері нульової лінії (при відсутності динамометра і вантажу) і запис навантажувальної лінії, відповідної вазі вантажу (при відсутності динамометра).
- 3 Визначити вагу вантажу за допомогою динамометра.
- 4 Записати на осцилограф динамічні навантаження при підйомі «з ваги».
- 5 Записати на осцилограф динамічні навантаження при підйомі вантажу «з підхопленням».
- 6 Обробити експериментальні дані, визначивши тарувальний коефіцієнт навантаження, масштаб часу на осцилограмі, максимальну силу в пружному зв'язку і коефіцієнт динамічності при підйомі вантажу «з ваги» і «з підхопленням», а також власну частоту p , період T і частоту f коливань системи. Результати занести в табл. 1.

Таблиця 1 - Результати експериментальних досліджень динамічних і частотних характеристик механізму підйому вантажу

Умови експерименту	Динамічні характеристики				Частотні характеристики			
	h^* , мм	F_a , Н	F_{max} , Н	K_d	ρ^* , мм	p , c^{-1}	T , с	f , Гц
Підйом "з ваги"								
Підйом "з підхопленням"								

* Результати вимірювань по осцилограмі.

Розрахувати динамічні і частотні параметри системи аналітично. Результати занести в табл. 2.

Таблиця 2 - Результати аналітичного розрахунку динамічних і частотних характеристик механізму підйому вантаж

Умови експерименту	Динамічні характеристики			Частотні характеристики		
	F_a , Н	F_{max} Н	K_d	p , c^{-1}	T , с	f , Гц
Підйом "з ваги"						
Підйом "з підхопленням"						

Провести зіставлення результатів теоретичних і експериментальних досліджень, визначивши величину відносної похибки розрахунку:

$$\Delta F = \left| \frac{F_{\max(\text{експ})} - F_{\max(p)}}{F_{\max(\text{експ})}} \right| \cdot 100\%$$

Зміст звіту

- 1 Найменування і мета роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 Копія осцилограми навантаження механізму підйому вантажу.
- 4 Визначення динамічних і частотних характеристик на підставі результатів експерименту.
- 5 Розрахунок динамічних і частотних характеристик аналітично.
- 6 Висновки про зіставлення отриманих експериментальних і теоретичних результатів.

Контрольні питання

- 1 Що являє собою найпростіша розрахункова схема механізму підйому вантажу?
- 2 Який вид мають диференціальні рівняння руху двох масової системи?
- 3 Який вид має рівняння для визначення пружної сили при підйомі «з ваги»?
- 4 Як визначається максимальна сила в пружною зв'язку при підйомі «з ваги»?
- 5 Як визначається максимальна сила в пружною зв'язку при підйомі «з підхопленням»?
- 6 Що розуміють під коефіцієнтом динамічності?
- 7 Як визначаються власна частота коливань системи p , період T і частота f ?
- 8 Наведіть порядок експериментального визначення динамічних навантажень у механізмі підйому вантажу.

