

Лабораторна робота №9

ВИВЧЕННЯ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ МАЯТНИКА

Теорія методу та описання експериментальної установки

Вимушеними називають коливання, які виникають у системі при дії на неї періодичної зовнішньої сили. Якщо на тіло масою m , крім квазіпружної сили

$F = -kx$ та сили опору $F_0 = -rv$, діє зовнішня сила $F = F_0 \cos \omega t$, то рівняння коливального руху цього тіла матиме вигляд:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt} + F_0 \cos \omega t \quad /9.1/$$

де: m -маса маятника; r -коефіцієнт опору; ω -циклічна частота зовнішньої сили.

Як показує експеримент, одразу ж після прикладної зовнішньої періодичної сили рух коливальної системи буде досить складним, тому що він являє собою суперпозицію затухаючих і вимушених коливань. З часом затухаючі коливання припиняються і система буде здійснювати тільки вимушені коливання маятника описуються співвідношення:

$$x = A \cos(\omega t - \varphi) \quad /9.2/$$

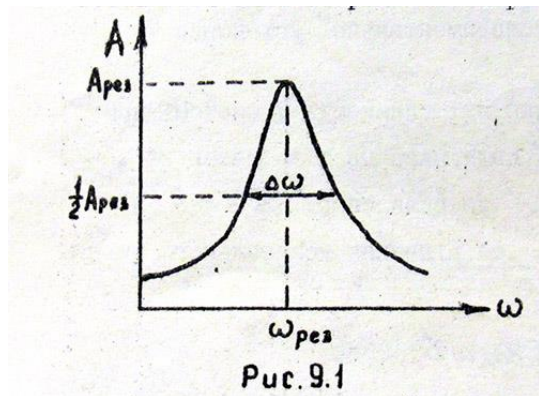
При цьому амплітуда коливань

$$A = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}} \quad /9.3/$$

Зсув фаз φ між силою і зміщенням маятника при вимушених коливаннях можна визначити за формулою:

$$\tan \varphi = \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad /9.4/$$

де: $\beta = \frac{r}{2m}$ - коефіцієнт затухання; ω_0 - циклічна частота коливань маятника.



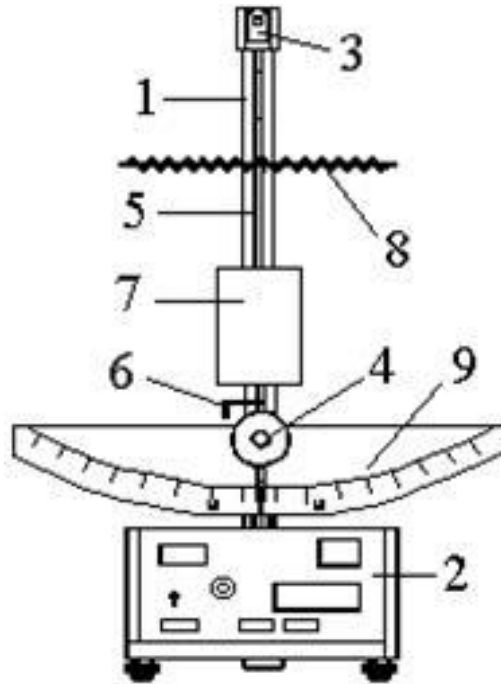
Графік залежності вимушених коливань від частоти зовнішньої сили зображений на рисунку 9.1. Як видно з цього графіка, при деякій частоті ω амплітуда коливань досягає максимуму. Явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань при частоті $\omega_{рез.}$, називається резонансом.

Резонансна частота:

$$\omega_{\text{рез.}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} \quad /9.5/$$

При малому затуханні $|\beta \ll \omega_0|$ резонансна частота практично збігається з частотою власних коливань ω_0 ($\omega_{\text{рез.}} \approx \omega_0$). За цієї умови амплітуда коливань при резонансі дорівнює:

$$A_{\text{рез.}} = \frac{F_0}{2\beta m \omega_0} \quad /9.6/$$



Зсув фаз між силою і зміщенням маятника при резонансній частоті досягає значення $\varphi_{\text{рез.}} = \frac{\pi}{2}$, тобто швидкість руху і сила при резонансі збігається по фазі.

Форма резонансної кривої $A = f(\omega)$ залежить від величини коефіцієнта затухання β . При малому затуханні $|\beta \ll \omega_0|$ ширина резонансної кривої на половині висоти $0.5A_{\text{рез.}}$ дорівнює:

$$\Delta\omega_{\text{рез.}} = 2\beta$$

Для вивчення вимушених коливань у даній роботі застосовується експериментальна установка, яка складається з вертикального стояка, на верхньому його кінці закріплений кронштейн. На цьому кронштейні підвішені маятник та стрижень, за допомогою якого збуджуються коливання маятника. Маятник та стрижень з'єднані між собою пружинами, при зміщенні яких вздовж стрижня змінюється жорсткість зв'язку маятника та стрижня. До складу маятника входить масивний тягар, зміщення вздовж якого дозволяє змінювати власну частоту коливань. У нижній частині стояка розміщена шкала, яка використовується для відліку значень амплітуди коливань маятника. Вимушені коливання маятника

збуджуються електродвигуном, який вмикається за допомогою спеціального тумблера, розміщеного на передній панелі блока приладів. Частоту обертання електродвигуна можна змінювати за допомогою регулятора «ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ». У блоці приладів розміщений також мілісекундомір, з допомогою якого визначаються період та число коливань маятника. Відлік часу і числа коливань починається після натискання на кнопку «СБРОС» з моменту перетину маятником оптичної осі фотодатчика, закріпленого у нижній частині стояка. Відлік припиняється після натискання кнопки «СТОП» і наступного перетину маятником оптичної осі фотодатчика, закріпленого у нижній частині стояка.

Порядок виконання роботи

1. Встановити тягар 3 на максимальній віддалі від осі коливань маятника.
2. Натиснути кнопку «СЕТЬ» . Ввімкнути електродвигун і потенціометром «ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ » задати максимальну швидкість його обертання.
3. Користуючись шкалою 7, знайти максимальне зміщення /амплітуди коливань/ маятника при заданій частоті зовнішньої сили. Частоту коливань визначити за часом 10 повних коливань маятника.
4. Провести аналогічні виміри при 10-15 значеннях частоти збуджуючої сили, поступову зменшуючи її. Особливо ретельно слід провести вимірювання в області резонансу. Результати занести до таблиці . провести виміри за пп.2-4, встановивши тягар 3 на іншій відстані від осі коливань маятника. Після закінчення експерименту вимкнути установку.

№	t_1, c	V	ω	A	t_2, c	v	ω	A
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Обробка результатів вимірювань

1. За одержаними даними для кожного досліду побудувати графік залежності амплітуди вимушених коливань маятника від частоти збуджуючої сили:
 $A = f(\omega)$.
2. Користуючись графіком, визначити резонансну частоту.
3. За формулою /9.7/ для кожного досліду оцінити величину коефіцієнта затухання β .

Контрольні запитання

1. Розповісти про вимушені коливання. Вивести рівняння вимушених коливань. З якою частотою відбуваються ці коливання, під дією якої сили вони виникають?
2. Як залежить амплітуда вимушених коливань від параметрів системи?
3. Як експериментально визначити частоту вимушених коливань?
4. Як експериментально визначити резонансну частоту коливальної системи?
5. Як експериментально визначити величину коефіцієнта затухання коливальної системи?