



Лекція 10

Тема: Засоби вимірювання прискорення

1. ЗВП з пружно закріпленою масою.

1. ЗВП з пружно закріпленою масою

Прилади (або вимірювальні перетворювачі), в яких зв'язок інерційної маси з корпусом здійснюється за допомогою пружних елементів (пружин), отримали найменування сейсмічних, оскільки вони вперше були використані для вимірювання коливань земної поверхні. Такі прилади отримали переважне поширення в техніці вимірювання прискорень.

При прискореному русі основи інерційна сила врівноважується пружною силою, тобто:

$$m\ddot{x} = cy, \tag{7.1}$$

де x , y - зміщення маси відповідно в інерційній та відносній (пов'язаній з корпусом приладу) системах координат; c - коефіцієнт, що характеризує жорсткість пружного елемента.

Нехай корпус приладу зазнає прискорення. Виберемо за позитивний напрямок осей таке, що відповідає рівності $\ddot{\zeta} = \ddot{x} + \ddot{y}$, де $\ddot{\zeta}$ - Зміщення корпусу приладу в інерційній системі координат.

Тоді $\ddot{\zeta} = \ddot{x} + \ddot{y}$. В цій рівності $\ddot{\zeta} = \ddot{x} + \ddot{y}$ і $\ddot{\zeta} = \ddot{x} + \ddot{y}$.

$$\ddot{\zeta} = \ddot{x} + \ddot{y}.$$

$$m\ddot{y} + cy = m\ddot{\zeta}. \tag{7.2}$$

- Розглянемо роботу такого акселерометра при вимірюванні прискорень $\ddot{\zeta}_0$, що мають гармонійну форму:

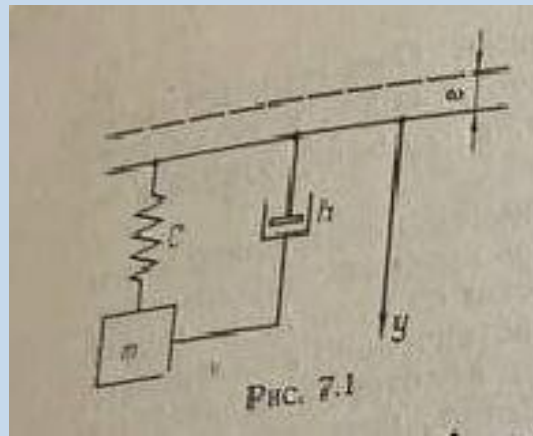
$$\ddot{\zeta}_0 = \ddot{\zeta}_0 \sin \omega t.$$

- У цьому також будуть гармонічними як відносне зміщення маси y , і друга похідна від нього за часом, тобто.

$$y = \ddot{\zeta}_0 (\omega_0^2 - \omega^2)^{-1} \sin \omega t; \quad \ddot{y} = \omega^2 \ddot{\zeta}_0 (\omega^2 - \omega_0^2)^{-1} \sin \omega t, \quad (7.3)$$

- де $\omega_0^2 = c/m$.
- Звідси видно, що при гармонійних коливаннях співвідношення між \ddot{y} і y різко змінюється з частотою, що буде призводити до такої зміни співвідношення між перший і другим доданками в наведеному вище рівнянні. Очевидно, починаючи з деякої нижньої граничної частоти і нижче, у рівнянні переважатиме лише другий член, тобто $cy \approx m\ddot{y}$ звідки у $\ddot{y} \approx \omega_0^2 y$ при $\omega \ll \omega_0$.
- Рівняння руху інерційної маси в сейсмічному приладі з урахуванням заспокійлювача (рис. 7.1) може бути записано так:

$$m\ddot{y} + k_{\text{Д}}y + cm = m\ddot{\zeta}_0.$$



Тут враховано дію демпфера. Коефіцієнт демпфування позначено h . Для аналізу зручніше від рівняння сил перейти до рівняння прискорень

$$\ddot{y} + 2\beta\omega_0\dot{y} + \omega_0^2 y = \ddot{\xi}$$

(7.4)

Параметр ω_0 називається власною частотою сейсмичної системи. Іноді використовується не кругова, а циклічна частота:

$$f_0 = \omega_0 / 2\pi = (c/m)^{0.5} / 2\pi$$

Параметр

$$\beta = k_d / (2\sqrt{cm})$$

називається коефіцієнтом (або ступенем) заспокоєння.

Як і раніше, думасмо, що прискорення змінюється за гармонічним законом, тобто

$$\ddot{\xi} = \ddot{\xi}_0 \sin \omega t.$$

При цьому маємо:

$$\xi = -\ddot{\xi}_0 \omega^{-1} \cos \omega t; \quad \dot{\xi}_0 = -\ddot{\xi}_0 \omega^{-1}; \quad \dot{\xi} = -\ddot{\xi}_0 \omega^{-2} \sin \omega t; \quad \xi_0 = -\ddot{\xi}_0 \omega^{-2}$$

- В операторній формі рівняння руху інерційної маси в сейсмічному приладі матиме вигляд

$$(p^2 + 2\beta\omega_0 p + \omega_0^2) y(p) = p^2 \xi(p). \quad (7.5)$$

Тоді передавальні функції сейсмічного приладу по прискоренню, швидкості та переміщенню можна представити відповідно таким чином:

$$W_y(p) = (p^2 + 2\beta\omega_0 p + \omega_0^2)^{-1}; \\ W_c(p) = p W_y(p); \quad W_n(p) = p^2 W_y(p).$$

Згідно з наведеними передатними функціями амплітудно-частотні характеристики сейсмічної системи (акселерометра велосиметра і віброметра) можна представити в наступному вигляді:

$$A_y(\omega) = \omega_0^{-2} \{ [1 - (\omega/\omega_0)^2]^2 + 4\beta^2 (\omega/\omega_0)^2 \}^{-0.5}; \\ A_c(\omega) = (2\beta\omega_0)^{-1} [1 + (\omega_0/\omega - \omega/\omega_0)^2 / 4\beta^2]^{-0.5}; \\ A_n(\omega) = \{ [(\omega_0/\omega)^2 - 1]^2 + 4\beta^2 (\omega_0/\omega)^2 \}^{-0.5}.$$

Залежно від параметрів сейсмічного приладу і його характеристик можна визначити, сигнали яких частот і з якими спотвореннями він може вимірювати. І навпаки, якщо задані частоти вимірюваних сигналів і допустимі спотворення, можна визначити оптимальні параметри приладу, у яких спотворення нічого очікувати перевищувати допустимих величин.

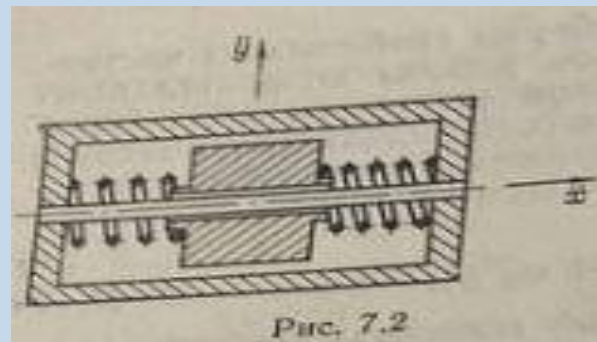
Якщо перейти до безрозмірних величин, то вирази (7.6, 7.7, 7.8) набудуть наступного вигляду:

$$\lambda_y(q) = A_y(\omega) \omega_0^2 = [(1 - q^2)^2 + 4\beta^2 q^2]^{-0,5}; \quad (7.9)$$

$$\lambda_c(q) = A_c(\omega) 2\beta\omega_0 = [1 + (1/q - q)^2 4\beta^2]^{-0,5}; \quad (7.10)$$

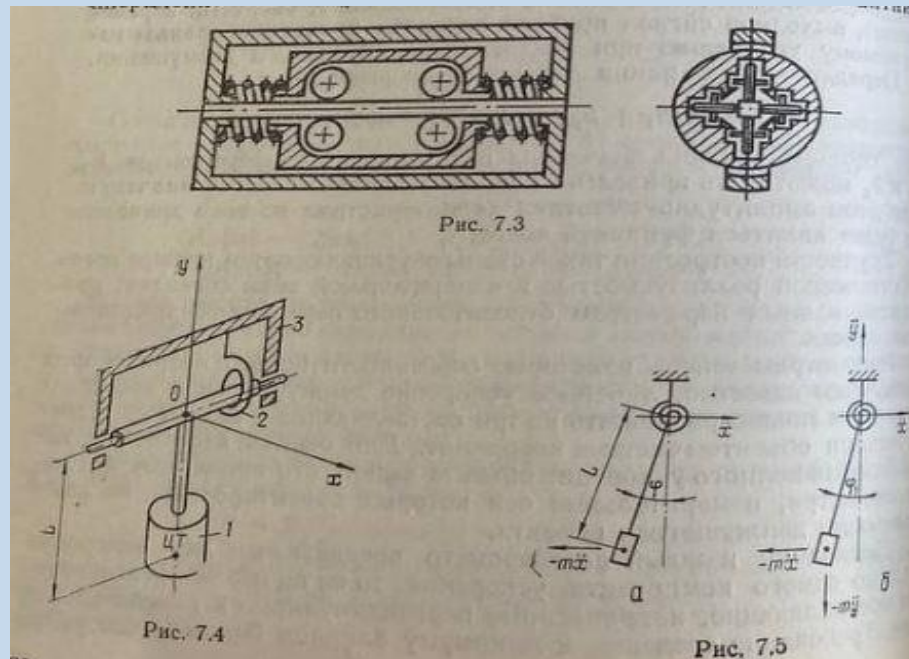
$$\lambda_n(q) = [(1/q^2 - 1)^2 + 4\beta^2/q^2]^{-0,5}; \quad (7.11)$$

Оскільки кожен акселерометр призначений для вимірювання лише одного компонента прискорення, то він не повинен реагувати на складові, що спрямовані перпендикулярно до вимірювальної осі. Вимога зведення до мінімуму впливу бічних прискорень (бічна нечутливість) забезпечується відповідною підвіскою інерційного елемента. При цьому, однак, слід задовольнити й іншу важливу вимогу – зведення до мінімуму тертя в опорах.



Найбільш простий є конструкція підвісу, в якій необхідна міра свободи поступального руху інерційного елемента забезпечується за допомогою напрямної (рис.7.2). Однак подібної конструкції властива велика зона нечутливості, яка пропорційна бічному прискоренню, спрямованому перпендикулярно до вимірювальної осі і масу, що притискає, до напрямної. Більш раціональна підвіска маси на напрямних із тертям кочення (рис. 7.3). Інерційне тіло тут має вигляд візка, встановленого, наприклад, на чотирьох парах роликів, які можуть котитися нерухомим напрямним стрижнем.

Порівняно з попередньою конструкцією зона нечутливості (для такої ж маси) зменшується приблизно в R/r раз (R - радіус ролика, r - радіус опорної цапфи ролика).



Іншим варіантом конструкції, що дозволяє зменшити зону нечутливості акселерометра, є маятниковий підвіс інерційної маси (рис. 7.4). За відсутності ускорення маятник 1 розташовується в нейтральному положенні (паралельно осі ОУ) відповідному ненапруженому стані пружини 2. Вимірювальна вісь ОХ такого елемента перпендикулярна лінії, що з'єднує вісь обертання з центром тяжкості маятника, що знаходиться в нейтральному положенні.

При відхиленні від нейтралі на маятник впливає поперечне прискорення y , спрямоване перпендикулярно вимірювальній осі Ox , що є недоліком такої підвіски важеля. За одночасної дії поздовжнього та поперечного прискорень \ddot{x} і \ddot{y} (рис. 7.5,б) умовою рівноваги системи (без урахування прискорень сили тяжіння) буде рівність нулю алгебраїчної суми моментів інерційних сил та сил пружності пружини:

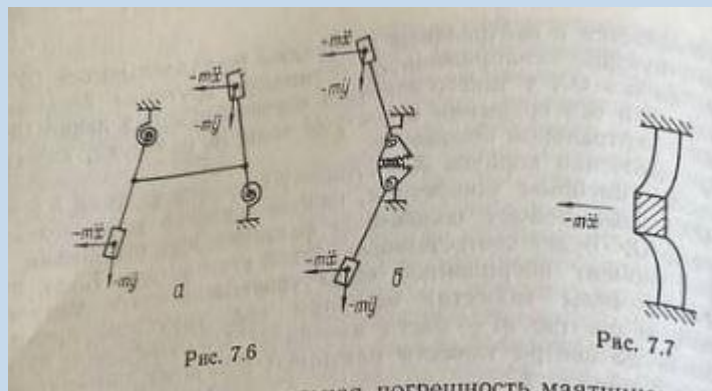
$$m\ddot{x}L \cos \varphi_1 + m\ddot{y}L \sin \varphi_1 + c\varphi_1 = 0.$$

При малих кутах можна прийняти $\sin \varphi_1 = \varphi_1$ і $\cos \varphi_1 = 1$. Тоді

$$m\ddot{x}L + m\ddot{y}L\varphi_1 + c\varphi_1 = 0,$$

Користуючись отриманими вираженнями, визначимо відносну похибку вимірювання прискорення, що виникає під впливом прискорення \ddot{y} :

$$\Delta\varphi/\varphi = (\varphi_1 - \varphi)/\varphi = -1/(1 + 1/Sy).$$



Таким чином, відносна похибка маятникового акселерометра, викликана впливом перехресних прискорень, буде тим меншою, чим менша чутливість S , т. е. тобто чим менший кут відхилення маятника на одиницю прискорення, що вимірюється \ddot{x} .

Похибка, що виникає під впливом прискорення \ddot{y} , компенсується в системі, що складається з двох зустрічно-паралельних маятників, кінематично пов'язаних між собою важелем (рис. 7.6, а) або парою зубчастих коліс (рис. 7.6, б).

У пружинній підвісці плоскі пружини (рис. 7.7) поєднують функції пружного елемента та напрямного пристрою. Перевагою такої підвіски є відсутність мертвого ходу та сухого тертя, що помітно знижує зону нечутливості приладу.

В акселерометрах, що вимірюють кутові прискорення, для пружної підвіски можна використовувати хрестоподібну пружину, що працює на кручення, або систему плоских пружин, що утворюють хрест і працюють на вигин.

Існують ще методи зменшення тертя шляхом застосування опор, що приводяться у обертання від спеціального двигуна, або вібруючих (хитних) опор.