

1. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ. ОСНОВИ АУДИОМЕТРІЇ

1.1. Основні закони та формули

- Диференціальне рівняння вільних незатухаючих коливань

$$x'' + \omega_0^2 x = 0.$$

- Пружинний маятник:

$$\text{частота власних коливань } \nu_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}},$$

$$\text{циклічна частота власних коливань } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

$$\text{період власних коливань } T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

- Математичний маятник:

$$\text{частота власних коливань } \nu_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}},$$

$$\text{циклічна частота власних коливань } \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}},$$

$$\text{період власних коливань } T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

- Зміщення матеріальної точки при гармонічних коливаннях

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0);$$

- Швидкість при гармонічних коливаннях

$$v = x' = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0);$$

- Прискорення при гармонічних коливаннях

$$a = v' = -A\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0).$$

- Енергія при гармонічних коливаннях:

$$\text{кінетична } E_k = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$\text{потенціальна } E_p = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$\text{повна } E = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}.$$

- Диференціальне рівняння затухаючих коливань

$$x'' + 2\beta x' + \omega_0^2 x = 0.$$

- Циклічна частота затухаючих коливань

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

- Період затухаючих коливань

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

- Амплітуда затухаючих коливань

$$A = A_0 e^{-\beta t}$$

- Декремент затухання

$$\delta = \frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\beta T}$$

- Логарифмічний декремент затухання

$$\lambda^* = \ln \delta = \beta T$$

- Диференціальне рівняння вимушених коливань

$$x'' + 2\beta x' + \omega_0^2 x = F_0 \sin(\Omega t + \varphi_0)$$

- Резонансна частота

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

- Амплітуда вимушених коливань при резонансі

$$A_{\text{рез}} = \frac{F_0}{2\beta \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

- Диференціальне рівняння хвилі

$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 s}{\partial t^2}$$

- Рівняння плоскої хвилі

$$s = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

- Потік енергії хвилі

$$\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta t}, \text{ де } E - \text{енергія.}$$

- Об'ємна густина енергії хвилі

$$W = \frac{\Delta E}{V}$$

- Інтенсивність звуку

$$I = \frac{\Delta E}{S \Delta t}$$

- Вектор Умова

$$I = Wv$$

- Ефект Доплера

$$v' = [(v \pm v_c) / (v \mp v_0)] \cdot v$$

- Частоти:

звукових коливань $16\text{Гц} < \nu < 20\text{кГц}$;

інфразвуку $\nu < 16\text{Гц}$;

ультразвуку $20\text{кГц} < \nu < 10^9\text{Гц}$.

- Звуковий тиск

$$p = \sqrt{2I\rho v}$$

- Поріг чутності

$$I_0 = 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}, (\nu = 1\text{кГц}).$$

- Поріг больового відчуття

$$I_{\text{max}} = 10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}, (\nu = 1\text{кГц}).$$

- Рівень інтенсивності

$$L = \lg \frac{I}{I_0}, [L] = \text{Бр} - 1\text{Б} = 10\text{дБ}.$$

- Закон Вебера-Фехнера

$$E = k(\nu) \lg \frac{I}{I_0}, [E] = \text{фон}, 1\text{фон} = 1\text{дБ}.$$

$$k(\nu) = 1 \text{ при } \nu = 1\text{кГц}.$$

$$1 \text{ дБ} = 10^{-1} \text{ Б}$$

1.2. Задачі для самостійного розв'язку

Для кожної з 10 наступних задач запишіть скорочену умову, розв'язок та відповідь.

1. Пишучий елемент реєструючого приладу здійснює коливання за законом $x = 2 \sin \pi(t - 0,4)$ см. Визначити амплітуду, період і початкову фазу.

$$A = 2 \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2 \text{ с} \quad \varphi_0 = -0,4$$

Відповідь: _____

2. Матеріальна точка здійснює гармонічні коливання з частотою 3 Гц. В момент часу $t = 0$ точка має зміщення 5 см та швидкість 16 см/с. Визначити амплітуду коливань.

Відповідь: _____

Відповідь:

6. Точка знаходиться на відстані 0,5 м від джерела коливань і має в момент часу $t = T/3$ зміщення, рівне половині амплітуди. Знайти довжину хвилі, якщо в початковий момент часу зміщення дорівнювало нулю.

Відповідь:

7. Дозволений рівень шуму складає 70 фон. Визначити максимально дозволена інтенсивність звуку на частоті 1 кГц.

Відповідь:

8. На скільки збільниться густина звуку частотою 1 кГц, якщо інтенсивність збільшилася у 10000 разів?

Відповідь: _____

9. Визначити звуковий тиск, що діє на барабанну перетинку людини (площа перетинки $S = 66 \text{ мм}^2$), на порозі чутності і на порозі болювого відчуття. Густина повітря $1,29 \text{ кг/м}^3$, швидкість звуку 340 м/с .

Відповідь: _____

10. Швидкість руху еритроцита в артерії дорівнює $0,3 \text{ м/с}$. Швидкість ультразвуку – 1500 м/с , частота – 100 кГц . Знайти доплеровський зсув частоти $\nu' - \nu$, якщо еритроцит рухається назустріч приймачу.

Відповідь: _____

1.3. Тестові завдання

Для кожного з наступних 10 тестових завдань
визначте одну вірну відповідь і позначте її хрестиком
в таблиці тестових відповідей (після тесту № 10).

1. При гармонічних коливаннях величини, що характеризують
коливальний процес, змінюються з часом...
 - а) за лінійним законом;
 - б) за експоненціальним законом;
 - в) за законом тангенса або котангенса;
 - г) за законом синуса або косинуса;
 - д) випадковим чином.
2. Розв'язком диференціального рівняння вільних незатухаючих
коливань є наступний вираз:
 - а) $x = A \operatorname{Atg}(\omega_0 t + \varphi_0)$;
 - б) $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$;
 - в) $x = A e^{-\beta t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$;
 - г) $x = A \cos \omega \left(t - \frac{t}{v} \right)$;
 - д) $x = A \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)$.
3. Розв'язок диференціального рівняння затухаючих коливань
(при умові $\omega_0 > \beta$) має вигляд:
 - а) $x = A \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)$;
 - б) $x = A \cos \omega \left(t - \frac{t}{v} \right)$;
 - в) $x = A \operatorname{Atg}(\omega_0 t + \varphi_0)$;
 - г) $x = A e^{-\beta t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$;
 - д) $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$.
4. Вимушені коливання виникають за рахунок...
 - а) дії зовнішньої періодичної сили;
 - б) складання зовнішніх сил;
 - в) зниження сили тертя в системі;
 - г) накопичення кінетичної енергії;
 - д) накопичення потенціальної енергії.

5. Висажіть вираз для фази хвилі:

а) $\varphi = \omega_0 t$;

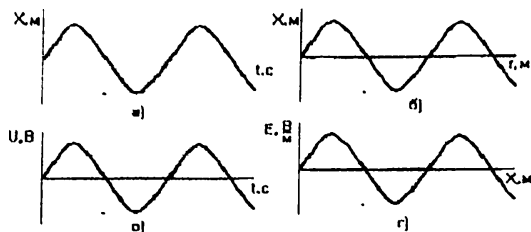
б) $\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$;

в) $\varphi = \omega \left(t - \frac{t}{v} \right)$;

г) $\varphi = \omega t + \frac{\pi}{2}$;

д) $\varphi = \omega t + \frac{\pi}{3}$.

6. Яка з наведених графічних залежностей ілюструє механічний хвильовий (I), а яка механічний коливний (II) процеси:



- а) I - а, II - в б) I - в, II - г; в) I - г, II - б;
г) I - б, II - а; д) I - г, II - в.

7. Яка характеристика механічної хвилі не залежить від властивостей середовища?

- а) довжина хвилі;
б) швидкість поширення;
в) інтенсивність;
г) амплітуда;
д) частота.

8. Швидкість поширення звуку в повітрі приблизно дорівнює:

- а) 340 м/с;
б) 1500 м/с;
в) 6000 м/с;
г) $3 \cdot 10^8$ м/с;
д) 2100 м/с.

9. Висота тону, головним чином, визначається...

- а) швидкістю поширення звукової хвилі;
б) інтенсивністю звуку;
в) частотами коливань обертонів;
г) рівнем інтенсивності звуку;
д) частотою основного тону.

10. Які з методів медичної діагностики є акустичними?

- а) флюорографія;
- б) реографія;
- в) перкусія, аускультатія, фонокардіографія;
- г) рентгеновська томографія;
- д) термографія.

Таблиця відповідей на тестові завдання

№ тесту	а	б	в	г	д
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

1.4. Установіть відповідності і заповніть таблиці логічних пар.

1.

Характеристика коливання	Одиниця вимірювання
1) циклічна частота ω	а) рад
2) період T	б) рад/с
3) частота ν	в) безрозмірна величина
4) логарифмічний декремент згасання δ	г) Гц
	д) с

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

2.

Період ... коливань	визначається за формулою
1) вільних незатухаючих ω	а) $T = \frac{2\pi R}{v}$
2) вимушених при резонансі ω	б) $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$
3) вільних затухаючих ω	в) $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}}$
	г) $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

3.

На векторній діаграмі...	представляє...
1) довжина вектора	а) зміщення в момент часу t
2) кутова швидкість обертання вектора	б) амплітуду коливань
3) кут між вектором і віссю Ox	в) циклічну частоту коливань
4) проекція вектора на вісь Ox	г) швидкість в момент часу t
	д) фазу коливань

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

4. Як відрізняються фази...

1) зміщення та швидкості v	а) 2π
2) зміщення та прискорення a	б) 0 $-\omega \cdot x = a$
3) прискорення та сили F	в) π
	г) $\frac{\pi}{2}$

1)	
2)	
3)	

5.

Характеристика хвилі	Визначення
1) фронт хвилі q	а) найменша відстань між двома точками, що коливаються в протилежних фазах
2) довжина хвилі $\lambda = \frac{v}{f}$	б) аргумент при косінусі (сінусі) $\omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$
3) фаза хвилі ϕ	в) швидкість поширення фіксованої фази $\omega \cdot t - \frac{x}{v} = \phi$
4) швидкість хвилі v	г) найменша відстань між двома точками, що коливаються в одній фазі
	д) місцеположення точок, що коливаються і мають однакову фазу

1)	
2)	
3)	
4)	

6. Загальна формула, що описує ефект Доплера, має вигляд:

$$\nu' = \left[\frac{v \pm v_c}{v \mp v_0} \right] \nu, \text{ де...}$$

1) v	а) частота хвилі, що випромінює джерело
2) v_c	б) частота хвилі, що сприймає спостерігач
3) v_0	в) швидкість руху джерела відносно спостерігача
4) v	г) швидкість руху джерела
5) ν	д) швидкість хвилі, що випромінює джерело
	е) швидкість руху спостерігача

1)	2
2)	
3)	
4)	v
5)	ω

Інтенсивність звуку

7. Вектор Умова визначається $I = wv$, де...

1) I	а) сила струму
2) w	б) інтенсивність хвилі
3) v	в) об'ємна густина енергії
	г) швидкість хвилі

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

8. Об'ємна густина енергії хвилі визначається: за формулою $\frac{\rho A^2 \omega^2}{2}$, де...

1) ρ	а) амплітуда хвилі
2) A	б) циклічна частота
3) ω	в) питомий опір середовища
	г) густина середовища $\rho = n \cdot m$

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

9. Швидкість поширення звуку у... приблизно дорівнює...

1) повітрі	а) (5000 ÷ 6000) м/с
2) вакуумі	б) $3 \cdot 10^8$ м/с
3) воді	в) 1500 м/с
4) металі	г) 340 м/с
	д) 0

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

$$15 = 10^{-1} \frac{15}{-1}$$

10. Гучність звуку ... на частоті 1 кГц відповідає інтенсивності...

1) 20 фон	а) $10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
2) 80 фон	б) $10^{-7} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
3) 40 фон	в) $10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
4) 70 фон	г) $10^{-10} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
	д) $10^{-4} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

$$170 = 146 = 10^{-15}$$

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>