4.4.2 Визначення швидкості звуку в повітрі методом додавання взаємоперпендикулярних коливань

Детальний опис роботи подано в [4, (робота 3); 9, (робота 3)].

Існує комп'ютерний симулятор цієї роботи [7, робота 2.1] .

Метою роботи є опанування методом визначення швидкості звуку, який ґрунтується на закономірностях процесу взаємоперпендикулярних коливань однієї частоти, та визначення цим методом швидкості звуку в повітрі.

Головними елементами експериментальної установки (рис. 16) є звуковий генератор ЗГ, електронний осцилограф ЕО, електродинамічний репродуктор Р, мікрофон М. Репродуктор і мікрофон встановлені на оптичній лаві для точного вимірювання відстані між ними.

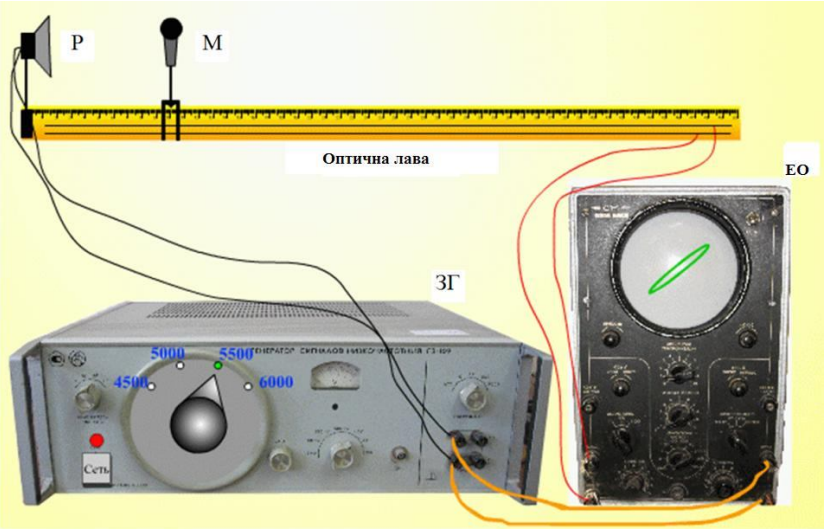

Рисунок 16

Звуковий генератор є приладом, призначеним для генерації синусоїдальної електричної напруги звукової частоти від 20 до 20000 Гц. Для виконання цієї лабораторної роботи можна використовувати звукові генератори різних типів. Електронний осцилограф використовується для фіксування певної різниці фаз при додаванні взаємоперпендикулярних коливань електронного променю на його екрані.

Електродинамічний репродуктор Р перетворює коливання електричного струму, підведеного від ЗГ, у звукові коливання, а мікрофон М – звукові коливання, які поширюються через повітря від репродуктора, в коливання електричної напруги.

Ідея та теоретичні засади застосованого в роботі методу вимірювання швидкості звуку в повітрі докладно описані в посібниках [4, 7, 9].

Стислі висновки зі згаданого викладу можна викласти таким чином. Коли в середовищі поширюється хвиля, то різницю фаз коливань $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ двох точок хви-

льового поля, що розташовані на відстані L одна від одної, яка відрахована вздовж променю, подає співвідношення

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{L}{\lambda} = \frac{2\pi \cdot L \cdot \nu}{v}, \qquad (4.2.1)$$

де ν – лінійна частота коливань, λ – довжина хвилі, v – швидкість її поширення. Тому, якщо одночасно виміряти для звукової хвилі $\Delta\varphi$, L та ν, то можна визначити швидкість поширення цієї хвилі.

У розглядуваній роботі ця вимірювальна процедура проводиться у такий спосіб. На пластини осцилографа ЕО, які відхиляють електронний промінь у *горизонтальному напрямі*, і, водночас, до клем репродуктора Р подають змінну синусоїдальну напругу від звукового генератора ЗГ з частотою ν, а на пластини осцилографа, які відхиляють електронний промінь у *вертикальному напрямі*, - синусоїдальну напругу від мікрофону М, що має таку саму частоту. Отже, промінь осцилографа бере участь у двох взаємоперпендикулярних гармонічних коливаннях з однаковою частотою ν. У цьому випадку величина L у формулі (4.2.1) набуває змісту відстані між мікрофоном М та репродуктором Р.

Траєкторія променя на екрані осцилографа у загальному випадку має форму еліпса приведеного до горизонтальної та вертикальної осей. У окремих випадках, коли різниця фаз задовольняє рівностям

$$\frac{2\pi\nu L}{v_{\text{експ.}}} = 2\pi n, \qquad (4.2.2)$$

або

$$\frac{2\pi\nu L}{v_{\text{експ.}}} = (2n+1)\pi, \qquad (4.2.3)$$

де $v_{\text{експ}}$ – експериментально вимірювана швидкість звуку в повітрі, n – цілі числа (n = 0, 1, 2, 3 ...), еліпс вироджується у відрізок прямої, що проходить відповідно через 1-й і 3-й квадранти (4.2.2) або 2-й і 4-й (4.2.3) квадранти.

Із співвідношень (4.2.2) і (4.2.3) випливає, що <u>відстань ΔL між двома послідовними положеннями мікрофону, які відповідають двом ***послідовним*** появам на екрані осцилографа ***однаково нахилених*** *відрізків прямої*</u>, в обох випадках є однаковою й дорівнює

$$\Delta L = v_{\text{експ.}} / \nu . \qquad (4.2.4)$$

Інакше кажучи, вибране таким чином переміщення мікрофону ΔL дорівнює довжині звукової хвилі.

З рівності (4.2.4) випливає *робоча формула* лабораторної роботи для визначення експериментального значення швидкості звуку в повітрі

$$v_{\text{експ.}} = \Delta L \cdot \nu . \qquad (4.2.5)$$

Описаний метод вимірювань швидкості звуку є диференційним. Його використання дає змогу автоматично вилучити похибки, зумовлені тим, що реальний репро-

дуктор і мікрофон не є точковими, та, навіть, гіпотетичну можливість виникнення додаткової різниці фаз за рахунок скінченної швидкості протікання струму в дротах, що підводять напругу.

Швидкість звуку в повітрі істотно залежить від температури. Отже теоретично визначена швидкість звуку в повітрі $\upsilon_{\text{теор.}}$ дорівнює:

$$\upsilon_{\text{теор.}} = \upsilon_0 \sqrt{\frac{T}{273}}\,, \qquad (4.2.6)$$

де T – абсолютна температура повітря, υ_0 = 331,5 м/с швидкість звуку в повітрі при 273 К (0 °С).

Формули (4.2.5) і (4.2.6) є *розрахунковими формулами* лабораторної роботи для визначення експериментального (4.2.5) і теоретичного (4.2.6) значень швидкості звуку в повітрі.

Процедура вимірювань описана в [4, (робота 3); 9, (робота 3)]. Рекомендована таблиця вимірювань матиме таку голівку:

$t°$ = … °С, ν = …. Гц			
№	L_i, мм	ΔL_i, м	$\Delta(\Delta L_i)$, м
1	2	3	4

Число вимірювань N обмежують тільки довжина оптичної лави та чутливість осцилографа. Зазвичай N є не меншим від 6.

Алгоритм опрацювання результатів експерименту

1. Вирахувати та занотувати до таблиці (стовпчик 3) відстані ΔL_i між двома послідовними положеннями мікрофону, які відповідають двом *послідовним* появам на екрані осцилографа *однаково нахилених відрізків прямої*.

$$\Delta L_i = L_{i+1} - L_i. \qquad (4.2.7)$$

2. Обчислити та занотувати до зошита середнє значення $<\Delta L>$:

$$<\Delta L> = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \Delta L_i\ . \qquad (4.2.8)$$

3. Вирахувати $\Delta(\Delta L)_i$ та занотувати їхні значення до стовпчику 4 таблиці:

$$\Delta(\Delta L)_i = |<\Delta L> - \Delta L_i|. \qquad (4.2.9)$$

4. Відшукати абсолютну похибку $\Delta(\Delta L)$ (коефіцієнт Стьюдента $t_{0,7}(N)$ взяти з таблиці глави 2):

$$\Delta(\Delta L) = t_{0,7}(N)\sqrt{\frac{1}{N(N-1)}\sum_{i=1}^{N}\left(\Delta(\Delta L_i)\right)^2}\ . \qquad (4.2.10)$$

5. Обчислити експериментальне (середнє) значення швидкості звуку в повітрі $<\upsilon_{\text{експ}}>$ з допомогою формули (4.2.5) та занотувати його до зошиту.
6. Відшукати абсолютну похибку $\Delta\upsilon_{\text{експ}}$:

$$\Delta v_{\text{експ.}} = \sqrt{\left[\Delta(\Delta L)\cdot \nu\right]^2 + \left[<\Delta L>\cdot \Delta\nu\right]^2}\ , \qquad (4.2.11)$$

де $\Delta\nu$ - похибка у встановленні частоти, яку можна вважати такою, що дорівнює половині ціни поділки шкали звукового генератора.

7. Записати експериментальне значення швидкості звуку в повітрі $\upsilon_{\text{експ}}$ у стандартному вигляді

$$\upsilon_{\text{експ}} = < \upsilon_{\text{експ}} > \pm \Delta\upsilon_{\text{експ}} \qquad (4.2.12)$$

8. З допомогою формули (4.2.6) обчислити теоретичне значення швидкості $\upsilon_{\text{теор.}}$ звуку в повітрі, занотувати його до зошиту та з'ясувати, чи потрапляє вирахуване $\upsilon_{\text{теор.}}$ до довірчого інтервалу для $\upsilon_{\text{експ}}$.