

1. ВВЕДЕНИЕ

Разделы 1 и 4 являются общими для лабораторных работ СТ-2К и СТ-2.

1.1. Цель работы

Изучение адиабатических процессов в идеальных газах на примере звуковых волн, экспериментальное определение показателя адиабаты газов, оценка числа степеней свободы молекул газов.

1.2. Подготовка к работе

Изучите теоретический материал по учебникам [1, 2]: условия протекания и уравнение адиабатического процесса, связь показателя адиабаты с теплоемкостями идеального газа и числом степеней свободы молекул, процессы, происходящие в газах при распространении звуковых волн, связь фазовой скорости звуковой волны с параметрами газа. Ознакомьтесь с устройством лабораторного стенда и методом опытного определения показателя адиабаты. Подготовьте ответы на вопросы из раздела 4 данного описания.

1.3. Краткая теория

Во многих природных явлениях и технических устройствах процессы в некотором объеме газа протекают без теплообмена с внешней средой. Например, быстрое сжатие рабочей смеси в тепловых двигателях (в дизельных двигателях это приводит к воспламенению смеси), расширение хладагента в холодильниках, истечение струи газа из сопла реактивных двигателей и т.п. Процессы, протекающие без теплообмена с внешней средой, называются **адиабатическими**. Для таких процессов с помощью первого начала термодинамики и уравнения состояния идеального газа можно получить **уравнение адиабаты** (уравнение Пуассона):

$$pV^\gamma = \text{const}, \quad (1.1)$$

где p – давление, V – объем, занимаемый газом, γ – **показатель адиабаты**, равный отношению молярной теплоемкости газа при постоянном давлении C_p к молярной теплоемкости газа при постоянном объеме C_V

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V}. \quad (1.2)$$

Показатель адиабаты γ является одним из важнейших параметров газа. Он необходим для расчета процессов в сложных технических устройствах, в которых газы используются в качестве рабочего тела.

Молярные теплоемкости C_p и C_V зависят от числа степеней свободы i молекул газа:

$$C_p = \frac{i+2}{2}R, \quad C_V = \frac{i}{2}R.$$

Поэтому формулу (1.2) можно записать в виде:

$$\gamma = \frac{i+2}{i} \quad \text{или} \quad i = \frac{2}{\gamma-1}. \quad (1.3)$$

Замечания:

1. Учитывая уравнение состояния идеального газа Клапейрона-Менделеева $pV = \nu RT$, из соотношения (1.1) можно получить другие формы записи уравнения адиабаты:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad \text{или} \quad T^{\gamma} p^{1-\gamma} = \text{const}.$$

2. Числом степеней свободы механической системы называется число независимых величин, с помощью которых может быть задано положение системы (например, для одноатомной молекулы достаточно задать три координаты x, y, z , т.е. $i = 3$).

Звуковая волна в газах представляет собой распространяющуюся в пространстве последовательность чередующихся областей быстрого сжатия и разрежения. Для типичных звуковых частот (20 Гц – 20 кГц) локальные изменения объема и давления в газовой среде следуют друг за другом так часто, что смежные участки среды не успевают обмениваться теплотой, и процесс можно считать адиабатическим. С учетом этого Лаплас вывел формулу для расчета скорости звука в газах:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}, \quad (1.4)$$

где M – молярная масса газа (для воздуха $M = 0,029$ кг/моль), $R = 8,31$ Дж/(моль К) – универсальная газовая постоянная.

Если определить экспериментально скорость звука и температуру газа, то, руководствуясь формулой (1.4), можно рассчитать показатель адиабаты

$$\gamma = \frac{Mv^2}{RT}. \quad (1.5)$$

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА СТ-2К ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ ГАЗОВ

Перед выполнением работы изучите содержание разделов 1 и 4 данного пособия.

2.1. Методика проведения эксперимента и описание установки

В данной лабораторной работе измерение скорости звуковой волны в газах производится на интерактивной компьютерной модели многофункционального лабораторного стенда (рис. 2.1), разработанной студентом факультета ПМиВТ МГТУ ГА Е.М. Беляевым. Модель позволяет измерять скорость звука в различных газах, исследовать ее температурную зависимость, определять показатель адиабаты газов и его зависимость от температуры в диапазоне 300 ÷ 900 К.

Для возбуждения звуковой волны в закрытой с двух сторон прозрачной кварцевой трубе 1 используется динамик 2, на который подаётся сигнал от звукового генератора 3. На передней панели генератора имеются: тумблер включения, цифровой дисплей, показывающий частоту звука, и ручка регулировки частоты звука. Приемником звуковой волны служит микрофон 4. Расстояние между динамиком и микрофоном можно изменять, перемещая микрофон по направляющему стержню. Сигналы с динамика и микрофона подаются на осциллограф 5 и наблюдаются на его экране в виде двух синусоид одинаковой частоты и с разностью фаз, зависящей от взаимного расположения динамика и

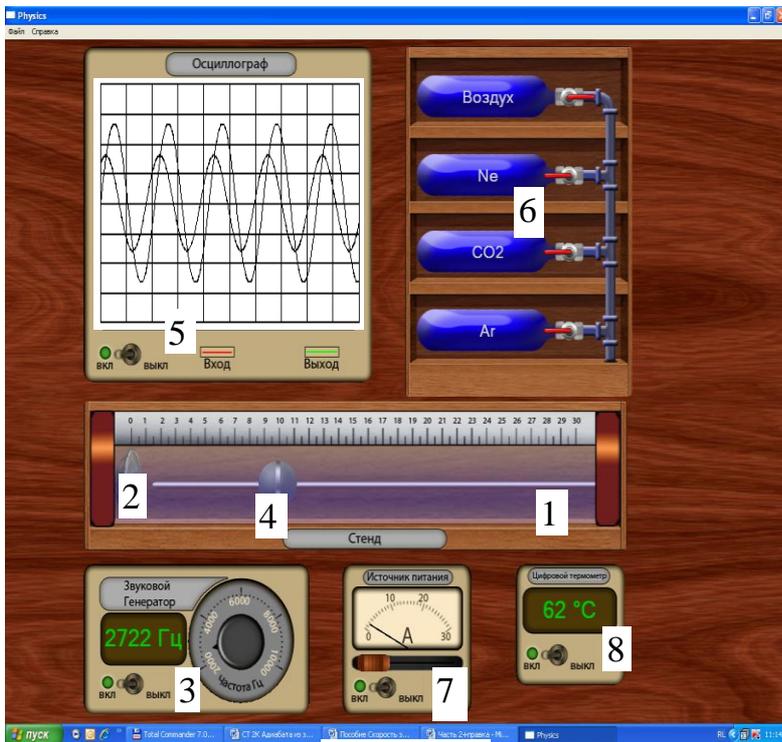


Рис.2.1

микрофона. Исследуемый газ подается в кварцевую трубу из баллонов 6. С помощью источника питания 7 можно регулировать ток накала нагревателя газа перемещением движка реостата. Температура газа в трубе измеряется термопарой и отображается на экране цифрового термометра 8.

Рассмотрим принцип определения скорости звуковой волны. Пусть генератор 3 создает переменное напряжение U_1 , зависящее от времени по гармоническому закону с нулевой начальной фазой:

$$U_1 = A \sin(2\pi\nu t), \quad (2.1)$$

где A – амплитуда колебаний сигнала, ν – частота колебаний. Этот сигнал подаётся на вход осциллографа 5 и на динамик 4. В результате колеблющийся диффузор динамика будет создавать звуковую волну той же частоты ν , которая распространяется по газу вдоль трубы к микрофону. Возникающий в микрофоне сигнал U_2 подается на второй вход осциллографа. Сигнал U_2 будет отста-

вать по времени от сигнала U_1 на величину $t_1 = \frac{x}{v}$, где v – скорость звуковой волны, x – расстояние между динамиком и микрофоном (измеряется по сантиметровой шкале над кварцевой трубой). Поэтому закон изменения сигнала U_2 от микрофона имеет вид:

$$U_2 = B \sin 2\pi\nu(t - t_1) = B \sin 2\pi\nu\left(t - \frac{x}{v}\right) = B \sin\left(2\pi\nu t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right),$$

где B – амплитуда колебаний сигнала с микрофона, ν – частота звука, λ – длина волны (напомним $v = \lambda\nu$).

Этому уравнению можно придать более удобную форму, если ввести величину $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, которая называется волновым числом:

$$U_2 = B \sin(2\pi vt - kx). \quad (2.2)$$

Таким образом, на экране монитора одновременно будут наблюдаться две синусоиды (2.1) и (2.2). При этом график сигнала U_2 смещён относительно графика сигнала U_1 в соответствии с разностью фаз $\Delta\phi = kx$ (рис. 2.1).

Перемещая микрофон 4, можно найти такое его положение x_1 , при котором разность фаз между сигналами U_1 и U_2 примет значение

$$kx_1 = 2\pi n, \text{ где } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

В этом случае положения максимумов графиков на экране монитора совпадут (рис. 2.2). Перемещая вновь микрофон 4 (вправо или влево), можно найти такое ближайшее к x_1 положение микрофона x_2 , при котором график сигнала U_2 сместится на одну длину волны, и максимумы обоих графиков опять совпадут. При таком перемещении разность фаз между сигналами U_1 и U_2 изменится на величину 2π и станет равной

$$kx_2 = 2\pi(n \pm 1), \text{ где } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.4)$$

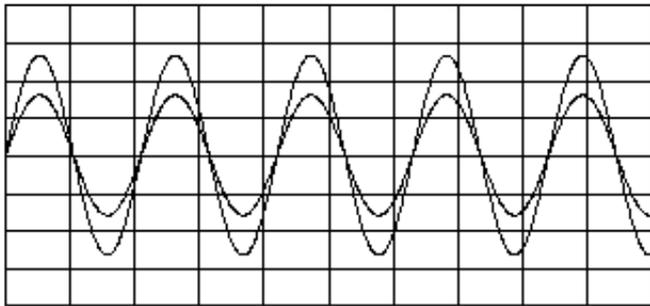


Рис.2.2

Тогда расстояние $\Delta x = |x_2 - x_1|$ между двумя найденными положениями, которое можно измерить, будет равно длине волны λ . Действительно, согласно выражениям (2.3) и (2.4)

$$k|x_2 - x_1| = 2\pi.$$

Поэтому

$$\Delta x = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi\lambda}{2\pi} = \lambda. \quad (2.5)$$

Измерив, таким образом, длину волны при известной частоте, можно рассчитать скорость звука по формуле

$$v = \lambda\nu, \quad (2.6)$$

а затем, зная молярную массу M и температуру T газа, с помощью формулы (1.5) можно рассчитать показатель адиабаты γ по результату однократного измерения скорости звука.

Для повышения точности результата производят многократные измерения длины волны (следовательно, и скорости). Процедуру многократных измерений длины волны можно реализовать двумя способами:

- 1) меняя частоту при неизменной температуре,
- 2) меняя температуру при фиксированной частоте.

В первом случае по экспериментальным данным (ν_j и λ_j) можно построить график $\lambda = f(1/\nu)$. В соответствии с формулой (2.6) это будет прямая, проходящая через начало координат, вида $y = a_1x$ с коэффициентом наклона

$$a_1 = \frac{d\lambda}{d\left(\frac{1}{\lambda}\right)} = v. \quad (2.7)$$

Теперь, воспользовавшись формулой (1.5), можно найти показатель адиабаты

$$\gamma = \frac{Ma_1^2}{RT}. \quad (2.8)$$

Во втором случае (при фиксированной частоте) по измеренным значениям длины волны λ_j рассчитывается скорость звука при различных температурах T_j . По этим экспериментальным данным (T_j и λ_j) строится график $v^2 = f(T)$. В соответствии с формулой (1.4) это будет прямая, проходящая через начало координат, вида $y = a_2x$ с коэффициентом наклона

$$a_2 = \gamma \frac{R}{M}, \quad (2.9)$$

откуда можно найти показатель адиабаты

$$\gamma = \frac{Ma_2}{R}. \quad (2.10)$$

Угловые коэффициенты a_1 и a_2 можно найти графическим способом, а также и аналитически без построения графика (используя метод наименьших квадратов), при этом вычисляется и стандартная погрешность σ_a определения угловых коэффициентов. Все необходимые формулы можно найти на стендах лаборатории кафедры физики. Для расчётов целесообразно использовать программное обеспечение лабораторного компьютера. Для этого необходимо войти в папку «Обработка результатов ЛР», расположенную на рабочем столе компьютера, открыть файл «Расчёт $y = ax$ МНК.xls» и ввести полученные в эксперименте данные.

2.2. Порядок выполнения работы

2.2.1. Подготовка к работе

Найдите на рабочем столе лабораторного компьютера ярлык папки «Виртуальные ЛР», откройте её с помощью левой кнопки компьютерной мыши, а затем запустите программу «Скорость звука» из этой папки. На экране монитора появится изображение модели лабораторного стенда (рис. 2.1). Наведите курсор на тумблер включения цифрового термометра. Стрелка курсора сменится на руку с указательным пальцем. Щёлкнув левой кнопкой компьютерной мыши, включите питание термометра. На его экране появится значение комнатной температуры. Аналогично включите тумблеры питания на генераторе, осциллографе и источнике питания нагревателя газа.

2.2.2. Эксперимент №1. Измерение длины звуковой волны при различных частотах

- Выберите по табл. 2.1 исследуемый газ и откройте кран на соответствующую

щем баллоне. Запишите в первую строку табл. 2.2 название газа, его молярную массу и комнатную температуру.

- Вращая ручку регулировки частоты генератора 3, установите по его цифровой шкале значение ν_1 вблизи минимального из рекомендуемого диапазона с точностью ± 50 Гц. Запишите значение ν_1 в табл. 2.2 для $j = 1$.
- Микрофон 4 сдвиньте в крайнее левое положение. Медленно смещая микрофон вдоль трубы, найдите положение x_{11} , при котором положения максимумов обоих сигналов совпадут. Запишите значение x_{11} в табл. 2.2 для $j = 1$.
- Продолжая смещать микрофон вправо, найдите его ближайшее положение x_{21} , при котором положения максимумов вновь совпадут. Запишите значение x_{21} в табл. 2.2 для $j = 1$.
- Не меняя температуры газа, проведите аналогичные измерения еще при 9-ти других частотах из рекомендуемого диапазона с шагом по частоте примерно 200 – 300 Гц. Подученные результаты x_{1j} и x_{2j} запишите в табл. 2.2 для $j = 2-10$.

Таблица 2.1

	1-я бригада	2-я бригада	3-я бригада	4-я бригада
Газ	Воздух	CO ₂	Ar	Ne
Молярная масса газа	0,029 кг/моль	0,044 кг/моль	0,040 кг/моль	0,020 кг/моль
Эксперимент №1. Измерение длины звуковой волны при различных частотах				
Диапазон частот, Гц	2500 – 5000	2000 – 5000	2500 – 5000	3500 - 6000
Эксперимент №2. Измерение длины звуковой волны при различных температурах				
Частота, Гц	4000	3500	4000	5500

Таблица 2.2

Газ, $M = \dots\dots\dots$ кг/моль, $T = \dots$ К									
j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ν_j , Гц										
x_{1j} , м										
x_{2j} , м										
λ_j , м										
$1/\nu_j$, Гц ⁻¹										
υ , м/с										
T , К										
γ										
i										

2.2.3. Эксперимент №2. Измерение длины звуковой волны при различных температурах

- Выберите по табл. 2.1 исследуемый газ и откройте кран на соответствующем баллоне. Установите частоту ν звукового генератора, рекомендуемую в табл. 2.1 для вашей бригады, с точностью ± 50 Гц. Запишите в первую строку табл. 2.3 название газа, его молярную массу M и частоту звука ν .
- Не меняя частоту звука, проведите измерения x_{1j} и x_{2j} при десяти различных температурах в диапазоне от комнатной до 600 °С. Изменение температуры газа производится перемещением движка реостата на источнике питания нагревателя 7. Результаты измерений запишите в табл. 2.3.
- Выключите тумблеры питания на приборах и закройте программу.

Таблица 2.3

Газ, $M = \dots\dots\dots$ кг/моль, $\nu = \dots\dots$ Гц									
j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T_j , К										
x_{1j} , м										
x_{2j} , м										
λ_j , м										
ν_j , м/с										
ν_j^2 , (м/с) ²										
γ										
i										

2.3. Обработка результатов измерений и оформление отчёта

2.3.1. Эксперимент №1: Определение скорости звука, показателя адиабаты и числа степеней свободы молекул для исследуемого газа по экспериментальной зависимости $\lambda = f(1/\nu)$.

- По данным табл. 2.2, рассчитайте значения λ_j и $1/\nu_j$. Результаты запишите в табл. 2.2.
- Выбрав удобный масштаб, постройте график экспериментальной зависимости $\lambda = f(1/\nu)$ (прямая, проходящая через начало координат).
- Рассчитайте угловой коэффициент a_1 полученной прямой и стандартную погрешность σ_{a_1} его определения методом наименьших квадратов, используя программу Microsoft Excel. Для этого откройте папку «Обработка результатов ЛР», расположенную на рабочем столе лабораторного компьютера, и запустите файл «Расчет $y = ax$ МНК.xls». В программе расчета введены обозначения $x_i \equiv \frac{1}{\nu_j}$, а $y_i \equiv \lambda_j$. Затем руководствуйтесь приведенными в файле пояснениями. Примите в качестве погрешности определения величины a_1 стандартную погрешность (т.е. $\Delta a_1 \approx \sigma_{a_1}$). Запишите результаты рас-

четов в табл. 2.2 в стандартной форме $v \pm \Delta v$, где $v = a_1$ и $\Delta v = \Delta a_1$.

Замечание. Мы принимаем величину доверительной вероятности (надежности измерения) $P = 0,7$, а коэффициент Стьюдента $t_{P,n-1} \approx 1,0$.

- Воспользовавшись формулой (2.8), рассчитайте показатель адиабаты γ исследуемого газа и погрешность его косвенного измерения по методике, приведенной на стенде в лаборатории. Ошибку в определении температуры примите равной ± 1 °С. При расчете можно пренебречь погрешностями в определении молярной массы газа и универсальной газовой постоянной. Полученные значения запишите в табл. 2.2 в стандартной форме $\gamma \pm \Delta\gamma$.
- Руководствуясь формулой (1.3) оцените число степеней свободы молекул исследуемого газа. Результат запишите в табл. 2.2.

2.3.2. Эксперимент №2: Определение показателя адиабаты и числа степеней свободы молекул для исследуемого газа по экспериментальной зависимости $\lambda = f(T)$.

- По данным табл. 2.3 рассчитайте значения длины волны λ_j , скорости звука v_j и v_j^2 при различных температурах газа. Результаты запишите в табл. 2.3.
- Выбрав удобный масштаб, постройте график экспериментальной зависимости $v^2 = f(T)$ (прямая, проходящая через начало координат).
- Рассчитайте угловой коэффициент a_2 полученной прямой и стандартную погрешность σ_{a_2} его определения методом наименьших квадратов, используя программу Microsoft Excel. В программе расчета введены обозначения $x_i \equiv T_j$, а $y_i \equiv v_j^2$. Примите в качестве погрешности определения величины a_2 стандартную погрешность (т.е. $\Delta a_2 \approx \sigma_{a_2}$).

Замечание. Мы принимаем величину доверительной вероятности (надежности измерения) $P = 0,7$, а коэффициент Стьюдента $t_{P,n-1} \approx 1,0$.

- Воспользовавшись формулой (2.10), рассчитайте показатель адиабаты γ исследуемого газа и погрешность его косвенного измерения по методике, приведенной на стенде в лаборатории. При расчете можно пренебречь погрешностями в определении молярной массы газа и универсальной газовой постоянной. Полученные значения запишите в табл. 2.3 в стандартной форме $\gamma \pm \Delta\gamma$.
- Руководствуясь формулой (1.3) оцените число степеней свободы молекул исследуемого газа. Результат запишите в табл. 2.3.
- По результатам экспериментов сделайте выводы.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА СТ-2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ ВОЗДУХА

Перед выполнением работы изучите содержание разделов 1 и 4 данного пособия.

3.1. Методика проведения эксперимента и описание установки

Измерение скорости звуковой волны в воздухе производится на установке, схема которой приведена на рис. 3.1. Для возбуждения звуковой волны в закрытой с двух сторон прозрачной трубе 1 используется динамик 2, на который подаётся сигнал от звукового генератора. На передней панели генератора имеются: кнопка включения, цифровой дисплей «ЦД», фиксирующий частоту звука, кнопка «воздух» подключения генератора к динамику, ручка регулировки частоты 6, ручка регулировки выходного сигнала генератора «Выход» (громкости звука) 7.

Приемником звуковой волны служит микрофон 3, подключённый к усилителю, находящемуся внутри корпуса генератора. Расстояние между динамиком и микрофоном можно изменять, перемещая микрофон 3 по направляющему стержню с линейкой 4. Сигналы с динамика и микрофона через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и персональный компьютер (ПК) подаются на экран монитора, который работает в режиме осциллографа.

Рассмотрим принцип опытного определения скорости звуковой волны. Пусть генератор создает переменное напряжение U_1 , зависящее от времени по гармоническому закону с нулевой начальной фазой, которое подается на динамик и на вход осциллографа

$$U_1 = A \sin(2\pi vt), \quad (3.1)$$

где A – амплитуда колебаний сигнала, v – частота колебаний. В результате динамик создает звуковую волну этой же частоты, которая распространяется по воздуху вдоль трубы к микрофону. Возникающий в микрофоне сигнал U_2 подается на второй вход осциллографа. Сигнал U_2 будет отставать по времени от сигнала U_1 на величину

$$t_1 = \frac{x}{v},$$

где v – скорость звуковой волны, x – расстояние между динамиком и микрофоном. Поэтому закон изменения сигнала U_2 от микрофона имеет вид

$$U_2 = B \sin 2\pi v(t - t_1) = B \sin 2\pi v \left(t - \frac{x}{v} \right) = B \sin \left(2\pi vt - \frac{2\pi}{\lambda} x \right),$$

где B – амплитуда колебаний сигнала с микрофона, λ – длина волны (напомним $v = \lambda v$).

Этому уравнению можно придать более удобную форму, если ввести

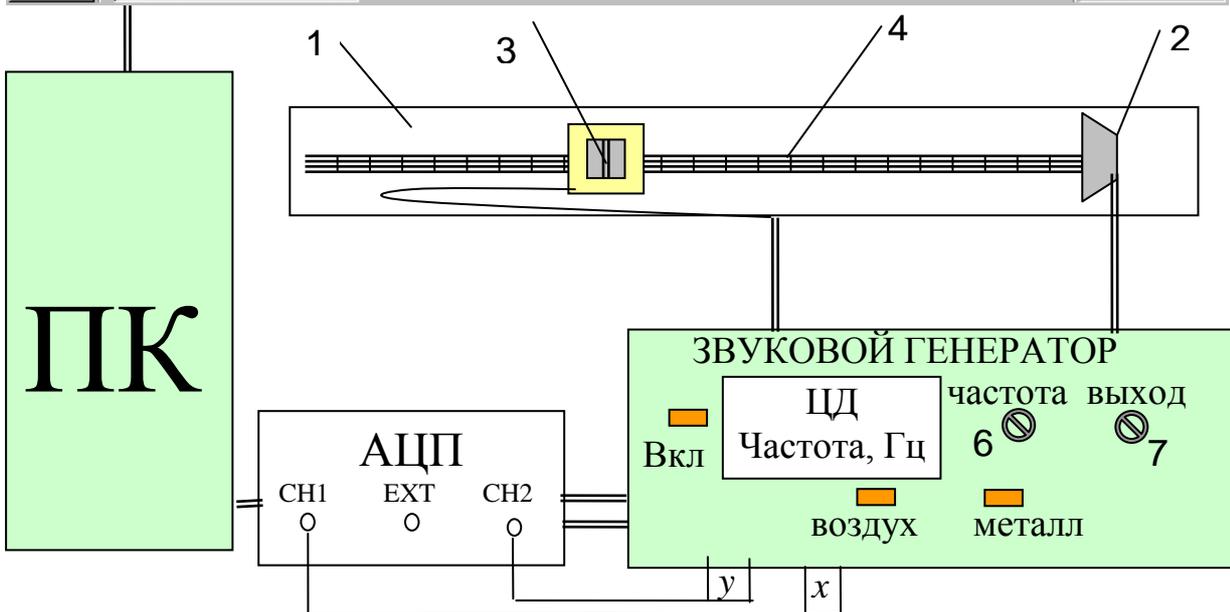
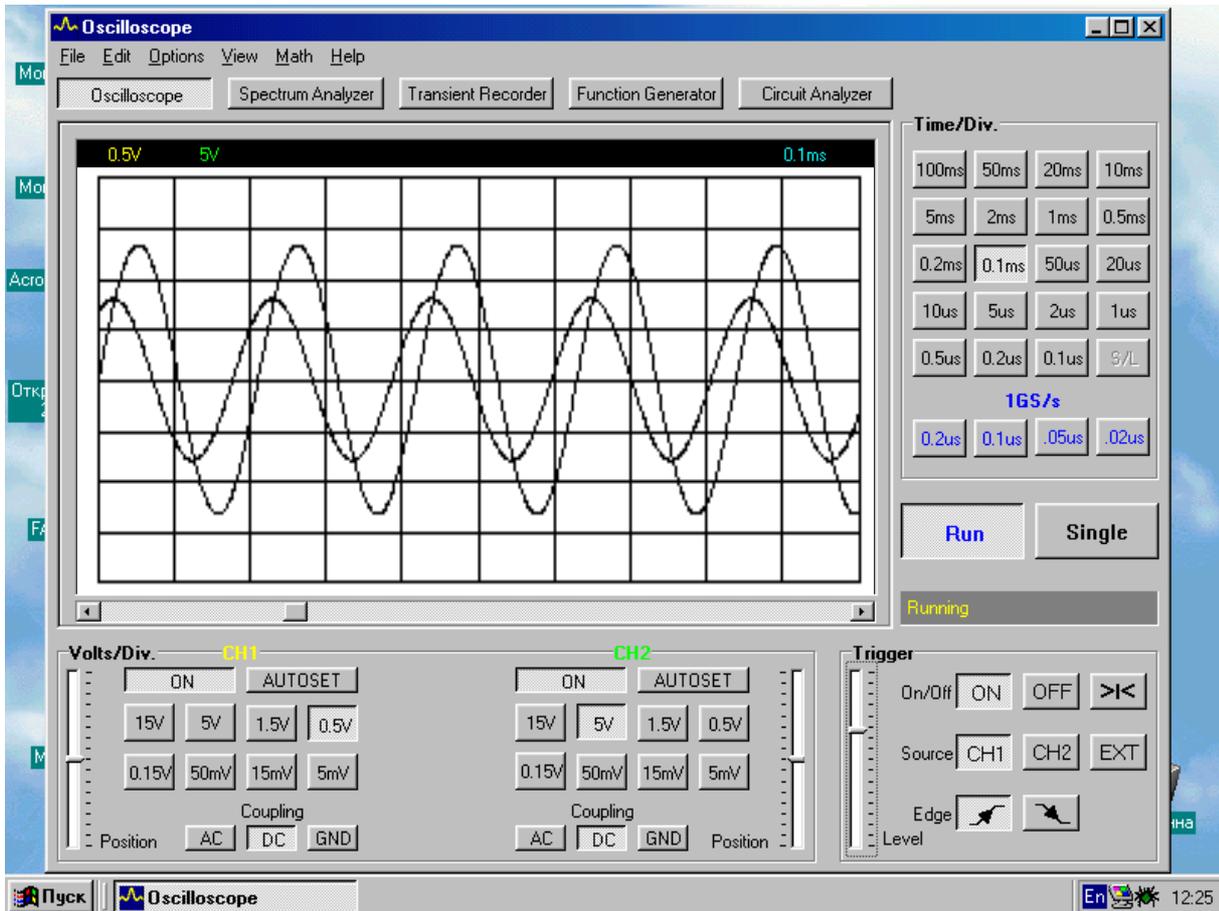


Рис.3.1

величину $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, которая называется волновым числом:

$$U_2 = B \sin(2\pi vt - kx). \quad (3.2)$$

В результате на экране монитора одновременно будут наблюдаться две синусоиды (3.1) и (3.2). При этом график сигнала U_2 смещен относительно графика сигнала U_1 в соответствии с разностью фаз $\Delta\varphi = kx$ (рис. 3.1).

Перемещая микрофон 3, можно найти такое его положение x_1 , при котором разность фаз между сигналами U_1 и U_2 примет значение

$$kx_1 = 2\pi n \quad (n = 0, 1, 2, \dots). \quad (3.3)$$

В этом случае положения максимумов графиков на экране монитора совпадут (рис. 3.2). Перемещая вновь микрофон 3 (вправо или влево), можно найти такое ближайшее к x_1 положение микрофона x_2 , что график сигнала U_2 сместится на одну длину волны и максимумы обоих графиков вновь совпадут (рис. 3.2). При таком перемещении разность фаз между сигналами U_1 и U_2 изменится на величину 2π и станет равной

$$kx_2 = 2(n \pm 1)\pi \quad (n = 0, 1, 2, \dots). \quad (3.4)$$

Тогда расстояние между двумя найденными положениями $\Delta x = |x_2 - x_1|$ будет равно длине волны λ . Действительно, согласно выражениям (3.3) и (3.4)

$$k|x_2 - x_1| = 2\pi.$$

Поэтому

$$\Delta x = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi\lambda}{2\pi} = \lambda. \quad (3.5)$$

Измерив, таким образом, длину волны при известной частоте, можно рассчитать скорость звука по формуле

$$v = \lambda \cdot \nu. \quad (3.6)$$

Зная молярную массу воздуха и измерив его температуру, с помощью формулы (1.5) можно рассчитать показатель адиабаты газа по результату однократного измерения скорости звука. Для повышения точности результата производят многократные измерения длины волны λ_j при нескольких разных частотах ν_j , и по этим данным

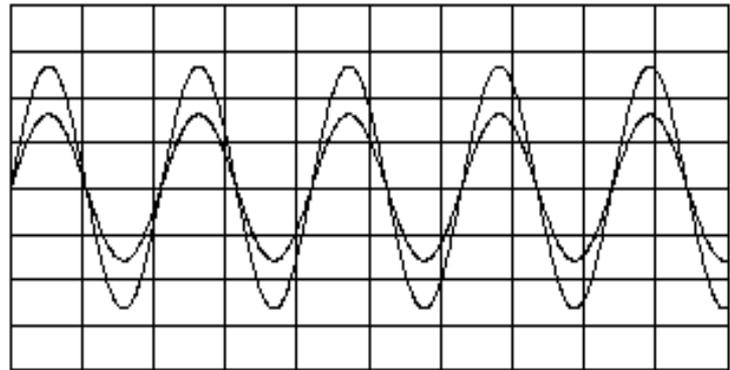


Рис.3.2

строится график в координатах λ и $\frac{1}{\nu}$. По коэффициенту наклона a полученной линейной зависимости можно более точно определить фазовую скорость звуковой волны v

$$a = \frac{d\lambda}{d\left(\frac{1}{v}\right)} = v \quad (3.7)$$

и рассчитать показатель адиабаты γ .

3.2. Порядок выполнения работы

3.2.1. Подготовка установки к работе

Перед включением приборов в сеть на передней панели звукового генератора нажмите кнопку «воздух», а регулятор выходного сигнала 7 установите в среднее положение. Затем включите звуковой генератор, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и персональный компьютер (ПК) с монитором и подготовьте их к работе (выполняет лаборант). На рабочем столе экрана монитора найдите ярлык **Pc-Lab-2000** и откройте окно соответствующей программы. В этом окне, оставив включенными кнопки PCS500, PCG10, 378 LPT1 и None, нажмите ОК, переведя экран монитора в режим осциллографа с изображением его передней панели с элементами управления (рис. 3.1). На этой панели с помощью мышки включите кнопки **Oscilloscope, RUN, On/Off** в положение **ON, Source** в положение **CH₁, Edge** в , регулятор **Trigger(Level)** установите в середину верхней половины шкалы. Путем подбора чувствительности каналов **CH₁** и **CH₂** (кнопки 15V – 0.15V) добейтесь того, чтобы наблюдаемый колебательный процесс размещался в пределах основной части экрана. Длительность развертки осциллографа (кнопки **Time/Div**) установите такой, чтобы на экране уместились четыре–шесть периодов колебаний (обычно это в пределах 1 ms – 0.1 ms).

3.2.2. Измерение длины звуковой волны при различных частотах

- Вращая ручку 6 (рис. 3.1), установите по цифровой шкале генератора частоту вблизи значения $\nu_1 = 3500$ Гц с точностью ± 50 Гц. Микрофон 3 сдвиньте в крайнее левое положение. Запишите значение ν_1 в табл. 3.1 (столбец для $j = 1$).
- Медленно смещая микрофон вдоль трубы, найдите положение x_{11} , при котором положения максимумов обоих сигналов совпадут. Запишите значение x_{11} в табл. 3.1.
- Продолжая смещать движок вправо, найдите его ближайшее положение x_{21} , при котором положения максимумов вновь совпадут. Запишите значение x_{21} в табл. 3.1.
- Аналогичные измерения (в средней части трубы) проведите при других частотах в диапазоне 3500 - 4500 Гц с шагом по частоте примерно 100 Гц. Подученные результаты запишите в табл. 3.1.
- Выключите звуковой генератор, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и персональный компьютер.

3.3. Обработка результатов измерений и оформление отчёта

- По данным табл. 3.1 рассчитайте значения $1/\nu_j$ и λ_j . Постройте график зависимости $\lambda = f(1/\nu)$.
 - Рассчитайте методом наименьших квадратов угловой коэффициент a полученной прямой и стандартную погрешность σ_a его определения, используя программу Microsoft Excel. Для этого откройте папку «Обработка результатов ЛР», расположенную на рабочем столе лабораторного компьютера, и запустите файл «Расчет $y = ax$ МНК.xls». В программе расчета введены обозначения $x_i \equiv \frac{1}{\nu_j}$, а $y_i \equiv \lambda_j$. Затем руководствуйтесь приведенными в файле пояснениями. Примите в качестве погрешности определения величины a стандартную погрешность (т.е. $\Delta a \approx \sigma_a$). Запишите результаты расчетов в табл. 3.1 в стандартной форме $v \pm \Delta v$, где $v = a$ и $\Delta v = \Delta a$.
- Замечание.** Мы принимаем величину доверительной вероятности (надежности измерения) $P = 0,7$, а коэффициент Стьюдента $t_{P,n-1} \approx 1,0$.
- Воспользовавшись формулой (1.5), рассчитайте показатель адиабаты γ и погрешность его косвенного измерения по методике, приведенной на стенде в лаборатории. Величину комнатной температуры и ошибку в ее определении узнайте у преподавателя. Запишите их в табл. 3.1. При расчете можно пренебречь погрешностями в определении молярной массы воздуха и универсальной газовой постоянной. Полученные результаты запишите в табл. 3.1 в стандартной форме $\gamma \pm \Delta\gamma$.
 - Руководствуясь формулой (1.3) оцените число степеней свободы молекул, из которых в основном состоит воздух. Результат запишите в табл. 3.1.
 - По результатам эксперимента сделайте выводы.

Таблица 3.1

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ν_j , Гц										
x_{1j} , м										
x_{2j} , м										
λ_j , м										
$\frac{1}{\nu_j}$, Гц ⁻¹										
v , м/с										
T , К										
γ										
i										

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Какой процесс называется адиабатическим? Запишите уравнение адиабатического процесса. Постройте график адиабатического процесса в координатах давление–объём ($P - V$). Сравните его с графиком изотермического процесса.

2. Каким образом связан показатель адиабаты с теплоёмкостями идеального газа и числом степеней свободы молекул? Чему равна теоретическая величина показателя адиабаты для воздуха, если считать, что воздух состоит в основном из двухатомных молекул?

3. Почему процессы сжатия и расширения газа при распространении звуковой волны можно считать адиабатическими? Оцените величину скорости звука в воздухе при температуре $T = 300$ К.

4. Каким образом измеряется разность фаз между колебаниями давления воздуха в различных точках внутри трубы, в которой распространяется звуковая волна?

5. Объясните принцип определения показателя адиабаты газов в данной работе.

6. Оцените изменение температуры рабочей смеси в цилиндре дизельного двигателя при 10-кратной степени сжатия. Показатель адиабаты принять равным 1,4.

7. Запишите уравнение первого начала термодинамики для адиабатического процесса.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. - М.: Наука, 2004-2012. – Т.3,4.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа, 2004-2012.