

Московский Физико-Технический Институт
(Национальный Государственный Университет)

Общеинженерная подготовка
Скорость звука в воздухе

Выполнил:
Дахов Богдан,
Ковачевич Михайло,
Реджепдурдыев Бердигылыч.
Б03-305 ФАКИ Чемпион

Долгопрудный 2022

Оглавление

1)	Введение	3
1.1.	Цель работы.....	3
1.2.	Задачи.....	3
2)	Теория.....	4
2.1.	Термины и определения.....	4
2.2.	Физическая система.....	4
2.3.	Экспериментальная установка и принцип её действия.....	5
3)	Программа и методика измерений.....	5
4)	Обработка данных.....	5
5)	Программа.....	7
6)	Результаты	9
7)	Вывод.....	9

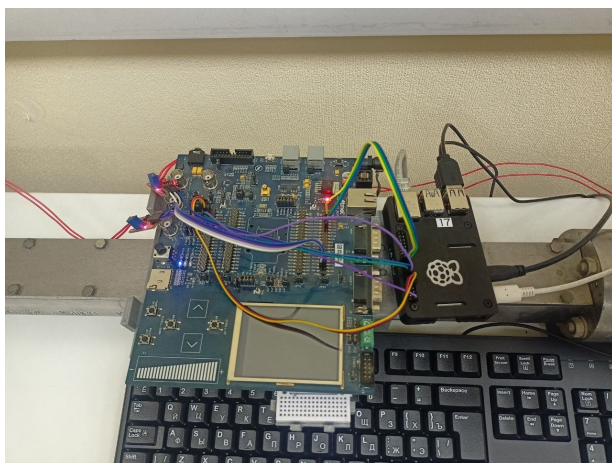


Рисунок 3. Схема установки



Рисунок 4. Схема установки

2) Теория

2.1. Термины и определения

- Показатель адиабаты (иногда называемый коэффициентом Пуассона) — отношение теплоёмкости при постоянном давлении к теплоёмкости при постоянном объёме.
- Молекулярная масса — масса одной моли вещества.
- Влажность воздуха — это величина, характеризующая содержание водяных паров в воздухе.

2.2. Физическая система

Скорость звука определяется по формуле:

$$a^2 = \frac{\lambda RT}{\mu} \text{ где } \mu = \sum_i \mu_i x_i \text{ и } \lambda = \frac{\sum_i \mu_i C_{pi} x_i}{\sum_i \mu_i C_{vi} x_i}$$

Таким образом, зависимость концентрации углекислого газа от скорости звука квадратичная.

2.3. Экспериментальная установка и принцип её действия

Экспериментальная установка состоит из генератора волн давления, канала в котором распространяются волны, микрофонов и регистрирующей аппаратуры.

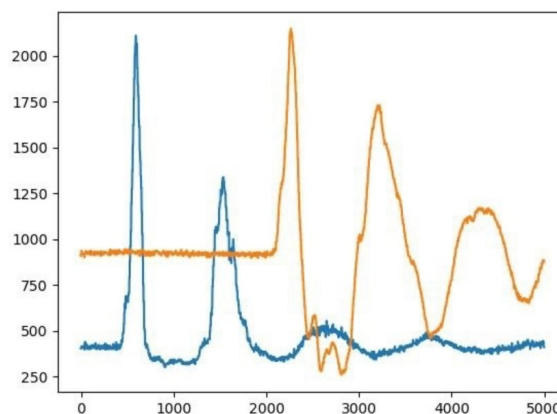
Интенсивность волны и её длительность регулируются напряжением на конденсаторе.

Преобразование волн давления в электрический сигнал осуществляется двумя микрофонами, расстояние между которыми 1158 мм.

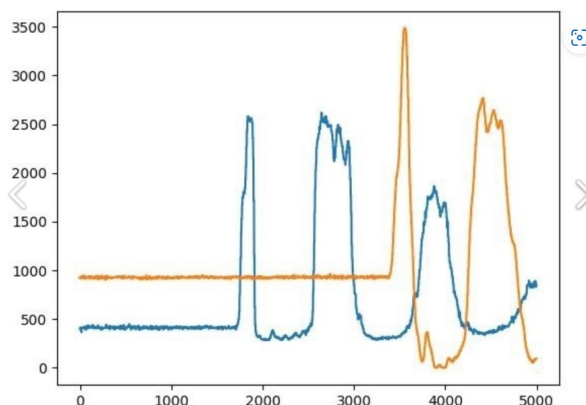
3) Программа и методика измерений

1. При помощи термогигрометра была измерена температура и относительная влажность.
2. Измерена скорость звука в воздухе (Был запущен код и осуществлён удар по стаканчику).
3. Было задержано дыхание на 60 секунд. Далее этот воздух был выдохнут через трубку кальяна в трубу установки.
4. Вновь была измерена температура и относительная влажность.
5. Измерена скорость звука в воздухе, выдыхаемом из лёгких.

В итоге получены зависимости значения на АЦП от номера измерений



Для сухого воздуха(график 1)



Для влажного воздуха(График 2)

В обоих графиках нижняя кривая для первого микрофона, высшая для второго микрофона.

4) Обработка данных

Для дальнейшей обработки были выбраны те графики, на которых первые пики наиболее отчётливо идут вверх/вниз.

По полученным данным строим графики зависимости дБ от времени t . На языке Python была написана программа, которая эти графики переносит вниз на среднее значение графика до прихода звуковой волны, делит каждый график на его максимальное значение и переносит второй график к первому так, чтобы первые пики совпадали. То, на сколько был осуществлён перенос, и есть время, за которое волна от 1-го микрофона доходит до 2-го.

Рисунок 5. График зависимости дБ от времени t для чистого воздуха

Рисунок 6. График зависимости дБ от времени t для воздуха, выдыхаемого человеком

графики нормированы и сдвинуты к началу первых пиков. Выбраны графики с самыми четкими первыми пиками. Величина сдвига для чистого воздуха составила 3.334 мс, для грязного 3.364 мс. Скорость воздуха соответственно составила 346.5 м/с и 344.2 м/с.

Из формул выразили зависимость концентрации углекислого газа от скорости звука, получили квадратное уравнение зависящее от коэффициента влажности данное уравнение страшное, но тем не менее поддающееся решению.

Далее с помощью этих двух кривых, которые на малых концентрациях можно принять за прямые. Накладываем полученные значения скоростей на теоретические графики и находим концентрацию.

5) Программа

```
def speed_of_sound(data_0, data_1):  
    max_value_data0 = np.max(data_0)  
    max_value_data1 = np.max(data_1)  
    print("max value 0: ", max_value_data0, "max value 1: ", max_value_data1)  
    position0 = np.argmax(data_0)  
    position1 = np.argmax(data_1)  
    print("pos 0: ", position0, "pos 1: ", position1)  
  
    time = 0.01018  
    timeDiv = time/5000  
  
    time0 = position0 * timeDiv  
    print("time0: ", time0)  
    time1 = position1 * timeDiv  
    print("time1: ", time1)  
  
    differenceTime = time1 - time0  
    print("time: : ", differenceTime)  
  
    length = 1.158  
    # Your analytical function for speed of sound calculation  
    # Replace this with the actual formula you have  
    # e.g., speed = some_function(temperature, humidity)  
    speed = length/differenceTime  
    return speed
```

```

def speedOfSound(temperature, humidity):

    R = 8.31446 # Universal gas constant

    # Constants for air (mixture of nitrogen, oxygen, and argon)
    m_noa = 0.02897
    c_p_noa = 1.0036
    c_v_noa = 0.7166

    # Constants for carbon dioxide
    m_y = 0.04401
    c_p_y = 0.838
    c_v_y = 0.649

    # Constants for water vapor
    m_h = 0.01801
    c_p_h = 1.863
    c_v_h = 1.403

    x = 0.03/100
    y = ((22.4*20.5*(humidity/100))/(1000*0.018))/1000
    print("y: ", y)

    M = m_noa*(1 - y - x) + m_y*y + m_h*x

    gama = (m_noa*c_p_noa*(1-y-x)+m_y*c_p_y*y+m_h*c_p_h*x)/(m_noa*c_v_noa*(1-y-x)+m_y*c_v_y*y+m_h*c_v_h*x)

    soundSpeed = ((gama*R*temperature)/M)**0.5

    print("Result: ", soundSpeed)
    return soundSpeed

T = 296.45 #23.3
H = 37.4 # 0.374 otnositelnoe

```



```

def speedOfSoundC02(co2, humidity=37.4, temperature=296.45):
    R = 8.31446 # Universal gas constant

    # Constants for air (mixture of nitrogen, oxygen, and argon)
    m_noa = 0.02897
    c_p_noa = 1.0036
    c_v_noa = 0.7166

    # Constants for carbon dioxide
    m_y = 0.04401
    c_p_y = 0.838
    c_v_y = 0.649

    # Constants for water vapor
    m_h = 0.01801
    c_p_h = 1.863
    c_v_h = 1.403

    x = co2
    y = ((22.4 * 20.5 * (humidity / 100)) / (1000 * 0.018)) / 1000

    M = m_noa * (1 - y - x) + m_y * y + m_h * x

    gama = (m_noa * c_p_noa * (1 - y - x) + m_y * c_p_y * y + m_h * c_p_h * x) / (
        m_noa * c_v_noa * (1 - y - x) + m_y * c_v_y * y + m_h * c_v_h * x)

    soundSpeed = ((gama * R * temperature) / M) ** 0.5

    return soundSpeed

# Generate data points
co2_values = np.arange(0.0003, 0.0501, 0.0001)
sound_speed_values = np.array([speedOfSoundC02(co2) for co2 in co2_values])

# Reverse the order of sound speed values

# Perform linear regression
slope, intercept = np.polyfit(co2_values, sound_speed_values[::-1], 1)

# Plotting
plt.plot(co2_values, sound_speed_values[::-1], label='Speed of Sound')
plt.xlabel('CO2 Concentration')
plt.ylabel('Speed of Sound')
plt.title('Speed of Sound vs CO2 Concentration')
plt.legend()

```

6) Результаты

Удалось получить концентрацию углекислого газа в воздухе, выдыхаемом из лёгких человека. Она равна:

в выдыхаемом воздухе 4.04%

в атмосферном воздухе 0.09%

превышение нормы углекислого газа в атмосфере можно объяснить тем, что опыт был проведен в надышанном помещении.

Выдыхаемый воздух сдвинут относительно атмосферного вверх, так как в выдыхаемом воздухе влажность стремится к 100 %. наклон меньше, так как часть кислорода переходит в углекислый газ, и это меняет коэффициенты квадратного уравнения.

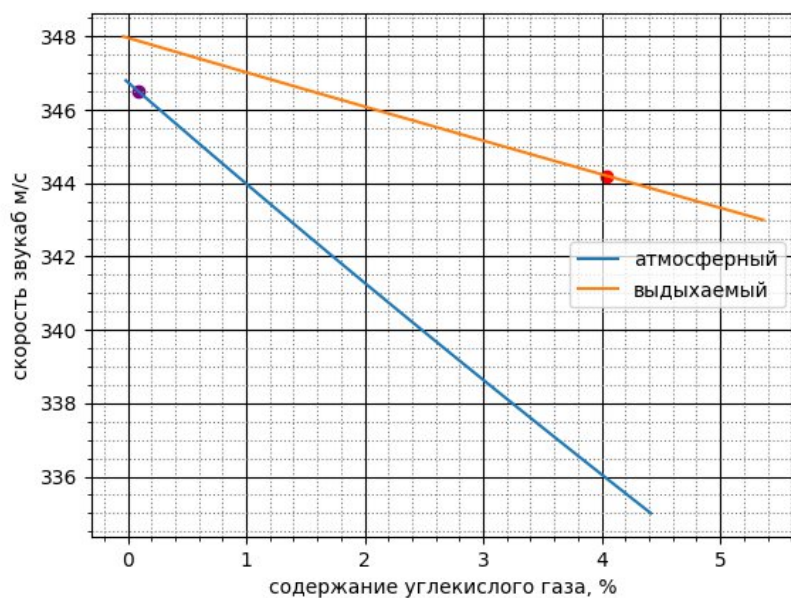


Рисунок 7. График зависимости скорости звука от концентрации углекислого газа в атмосфере и выдыхаемом воздухе.

7) Вывод

Получена концентрация углекислого газа из скорости звука, подтверждены зависимости в формулах. Проведен анализ причин, которые влияли на результат