

Измерение расхода затопленной струи

Кирсанов Б., Ромашков С., Ражина В.

МФТИ

2025

Содержание

- 1 Введение
- 2 Теория
- 3 Методика измерений
- 4 Обработка данных
- 5 Результаты
- 6 Выводы

Цели и задачи

Цель

Определить зависимость расхода затопленной струи от расстояния до сопла

Задачи

- Изучить функционал программ и написать программу для считывания данных
- Провести калибровку датчиков
- Измерить зависимость давления от расстояния
- Построить графики профилей скорости и расхода

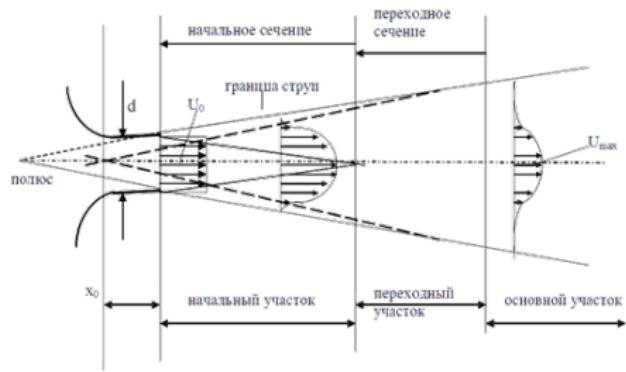
Основные понятия

Затопленная струя

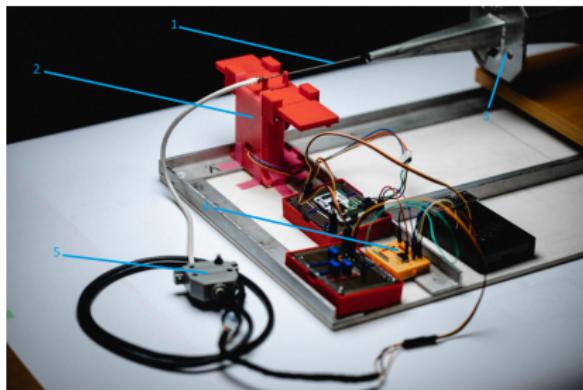
Течение, возникающее при истечении в покоящуюся окружающую среду потока жидкости или газа

Свободное течение

Течение, при котором твердые стенки находятся на большом расстоянии и не оказывают влияния



Экспериментальная установка

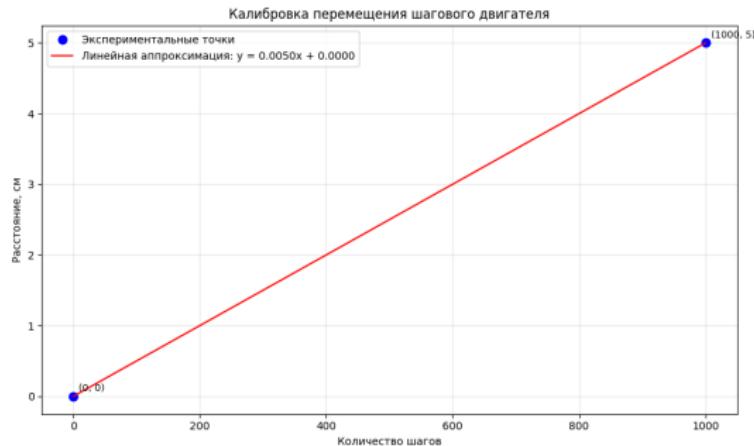


- 1 - Трубка Пито
- 2 - Шаговый двигатель
- 3 - Центробежный вентилятор
- 4 - АЦП
- 5 - Датчик давления

Калибровка оборудования

Калибровка шагового двигателя

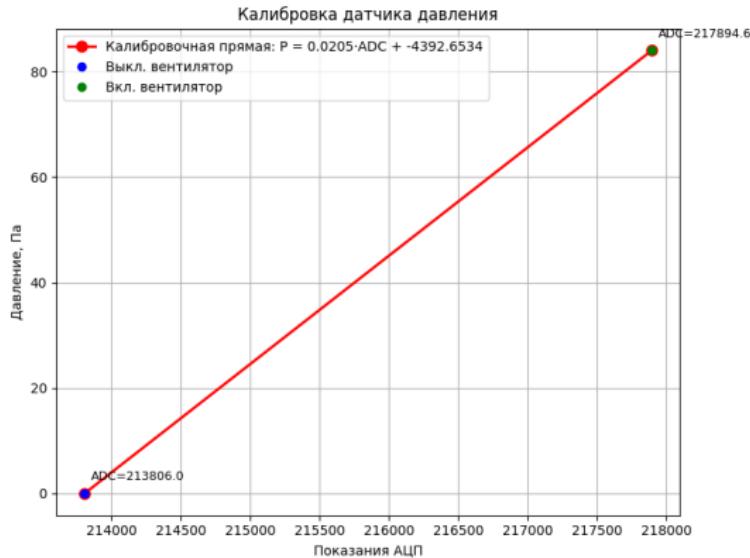
Коэффициент: 0.005 см/шаг (20 шагов/мм)



Калибровка датчика давления

Калибровочная зависимость

$$P = 0.0205 \cdot ADC - 4392.6534 \text{ Па}$$



Программа эксперимента

- ① Измерение фонового давления (вентилятор выключен)
- ② Калибровка по цифровому манометру
- ③ Измерения в сечениях: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 мм
- ④ По 100 точек на каждое сечение

Центрирование профилей скорости

Алгоритм центрирования

- ❶ Найти позицию максимальной скорости: `np.argmax(velocities)`
- ❷ Вычислить смещение: `center_position = positions[max_vel_index]`
- ❸ Сдвинуть позиции: `centered_positions = positions - center_position`

```
def center_velocity_profile(positions, velocities):  
    max_vel_index = np.argmax(velocities)  
    center_position = positions[max_vel_index]  
    centered_positions = positions - center_position  
  
    return centered_positions, velocities
```

Вычисление расхода

Формула расхода

$$Q = 2\pi \int V(r) \cdot r dr$$

Численное интегрирование

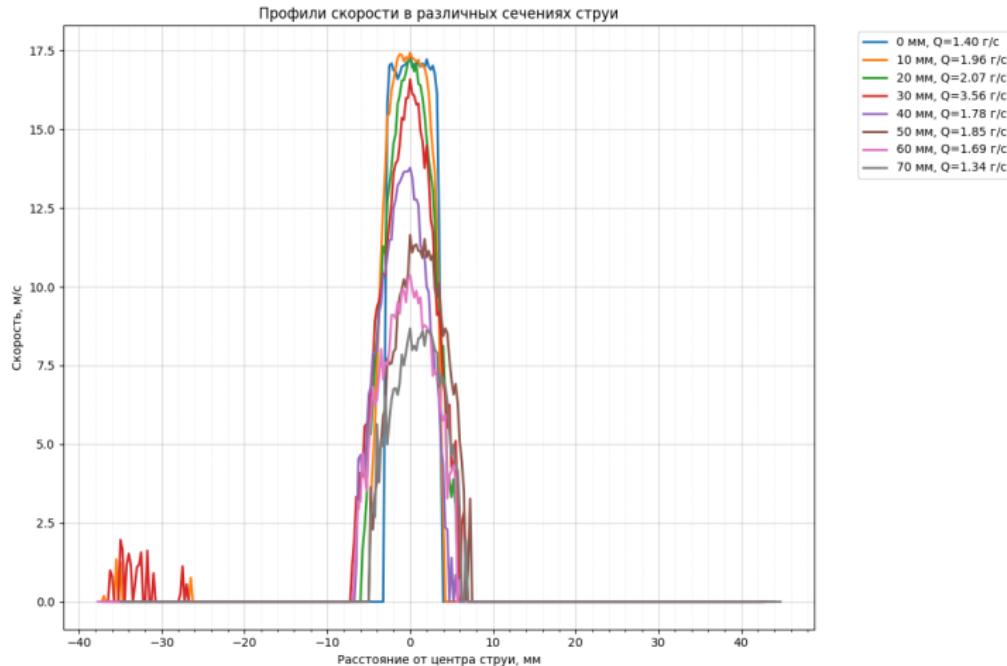
Метод трапеций для вычисления интеграла

```
def calculate_flow_rate(positions, velocities):

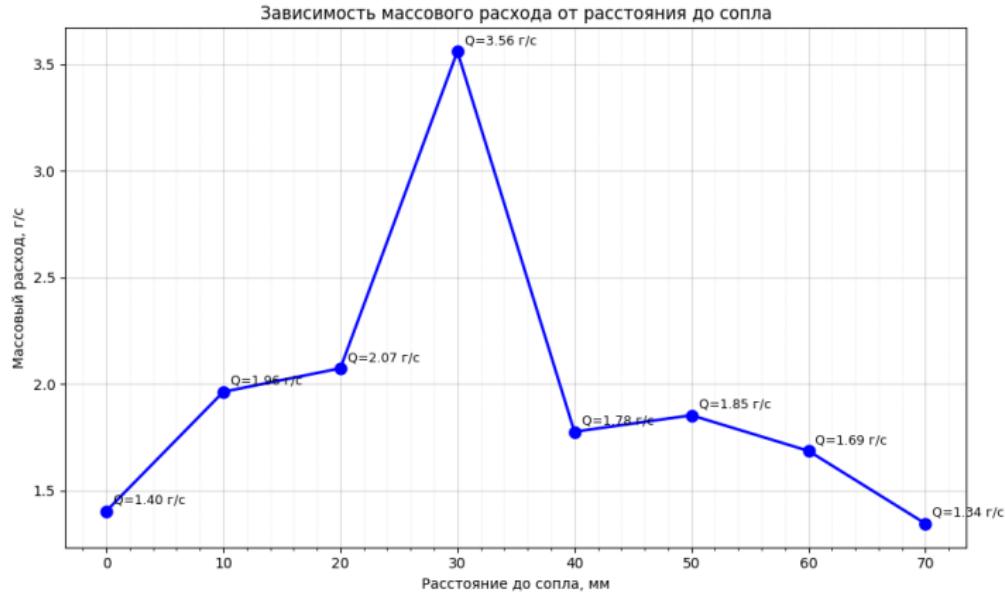
    positions_m = positions / 1000
    V_times_r = velocities * np.abs(positions_m)
    integral = 0
    for i in range(len(positions_m) - 1):
        f_i = V_times_r[i]
        f_i1 = V_times_r[i + 1]
        dr = 0.00025
        integral += (f_i + f_i1) * dr / 2
    volumetric_flow = 2 * np.pi * integral
    mass_flow = volumetric_flow * rho * 1000

    return mass_flow
```

Профили скорости



Зависимость расхода



Итоги работы

Результаты

- Проведена калибровка оборудования
- Построены профили скорости в различных сечениях
- Определена зависимость расхода от расстояния до сопла

Выводы

- Теория согласуется с экспериментом до расстояний 30 мм
- На больших расстояниях влияние турбулентных потоков
- Наблюдается увеличение расхода с расстоянием в связи с диффузией