

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.20¹⁾
ИЗУЧЕНИЕ СТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ
ПО ТРУБЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Цель работы: экспериментальная проверка применимости уравнения Бернулли для случая течения воды по трубе переменного сечения.

Литература: 1. Гершензон Е.М., Малов Н.Н., Мансуров А.Н. Курс общей физики. Механика» (2001), §10.2-10.6.

2. Стрелков С.П. Механика. (4-е изд., 2005), §100-111.

3. Сивухин Д.В. Общий курс физики в 5-ти томах, т. 1, Механика (4-е изд., 2005), §94,95.

4. Введение в физический практикум.

Приборы и принадлежности: трубка Бернулли, секундомер, мерный сосуд.

ВВЕДЕНИЕ

Стационарное течение идеальной жидкости по горизонтальной трубе описывается уравнением Бернулли:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости; p_1, v_1, p_2, v_2 — давления и скорости жидкости в двух произвольных сечениях трубки S_1 и S_2 . Расход жидкости (т. е. объем жидкости, протекающей через любое сечение трубки в единицу времени) рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{2(p_2 - p_1)}{\sqrt{\left(\frac{1}{S_1^2} - \frac{1}{S_2^2}\right)\rho}} = S_1 S_2 \sqrt{\frac{2g\Delta h}{S_2^2 - S_1^2}}. \quad (2)$$

В данной работе изучается движение воды по горизонтальной трубе переменного сечения. В стационарном режиме при малых скоростях течения воды можно сделать допущение, что весь поток жидкости представляет единую трубку тока. Вода не является идеальной жидкостью, и поэтому экспериментально найденная зависимость расхода воды от перепада давлений ($\Delta p = p_2 - p_1$) будет отличаться от теоретической, заданной уравнением (2). Относительная величина этого отклонения с учетом погрешностей эксперимента позволяет судить о возможности применения уравнения Бернулли к решению конкретных задач с заданным значением допустимых ошибок.

¹⁾ Описание дополнено преподавателями КОЭФ Александровым В.Н. и Васильевой И.А.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Трубка переменного сечения, используемая в работе, изображена на рис. 1.20.1. Один конец трубки соединен резиновым шлангом с водопроводным

краном. Протекающая через трубку вода с помощью другого шланга отводится в раковину или в мерный сосуд. В узком S_2 и широком S_1 сечениях горизонтальной трубки впаяны вертикальные трубки. Разность уровней воды в них при стационарном потоке воды показывает разность давлений воды на стенке горизонтальной трубки в данных сечениях. Верхние концы впаянных трубок соединены вместе резиновым

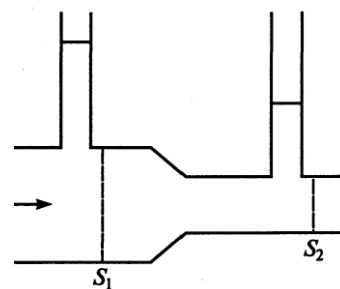


Рис.1.20.1

шлангом, который опускается в раковину. Это предотвращает неконтролируемый выброс воды через трубки при слишком большой разности давлений Δp . Скорость течения воды регулируется краном. Расход воды определяется с помощью мерного сосуда.

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Экспериментальная установка позволяет производить измерение расхода воды для заданной разности давления $\Delta p = p_2 - p_1$ между двумя фиксированными сечениями трубы. Расход воды определяется из измерений объема воды V , заполняющей мерный сосуд за время Δt .

Задание. Произведите измерения Q для пяти значений Δp через каждые 20 мм водяного столба (мм в.с.), начиная с $\Delta p = 20$ мм водяного столба. Следует выполнить не менее трех серий таких измерений. По полученным данным постройте график зависимости $Q_{\text{эксп}} = f(\Delta p)$ в координатах $\{lg(\Delta p), lg(Q_{\text{эксп}})\}$, то есть в двойном логарифмическом масштабе (см. В7 в [4]) На тот же график нанесите теоретическую зависимость, полученную по формуле (2), не забыв при вычислениях перевести [мм в.с.] в [Па]. Оцените случайную ошибку измерений. Данные измерений V , Δt , Δp , V_{cp} , Δt_{cp} и вычислений $Q_{\text{эксп}}$, $Q_{\text{теор}}$ и относительной ошибки косвенных измерений (см. В4 в [4] и пример в работе 1.1) расхода жидкости $\varepsilon_{\text{отн}}$ внесите в таблицу 1 и таблицу 2 для экспериментальных и расчетных данных, соответственно.

Таблица 1

№ эксп.	Δp , мм в.с.	Δt , с			V , $\times 10^{-3}$ м ³			V_{cp} , $\times 10^{-3}$ м ³		

Таблица 2

№ эксп	$Q_{\text{эксп}}, \times 10^{-3} \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$	$Q_{\text{теор}}, \times 10^{-3} \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$	$\frac{Q_{\text{теор}} - Q_{\text{эксп}}}{Q_{\text{теор}}}, \%$	$\varepsilon_{\text{отн}}, \%$

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Объясните различие между теоретической и полученной вами экспериментальной зависимостью $Q = f(\Delta p)$.
2. Изменятся ли результаты эксперимента, если изменить направление течения?
3. Как измеряются статическое и динамическое давления?
4. Чем определяется случайная ошибка эксперимента? Как повысить точность измерений?
5. Выведите формулы (1) и (2).