

## Лабораторная работа №2

### Тема: ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

*Цель работы:* экспериментальное определение коэффициента сопротивления трения (потери по длине) и коэффициентов местных гидравлических сопротивлений в потоке вязкой жидкости в трубах.

#### Описание рабочего участка лабораторной установки

В уравнении Бернулли для потока вязкой жидкости

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \Sigma \Delta h_n, \quad (4.1)$$

коэффициенты  $\alpha_1 = \alpha_2 \approx 1$ .

Слагаемое  $\Sigma \Delta h_n$  представляет собой удельную суммарную потерю энергии (потерю части напора) на преодоление гидравлических сопротивлений на участке между сечениями I и II. Гидравлические потери обычно подразделяются на два вида: потери на трение (потери по длине)  $\Delta h_l$  и потери в местных сопротивлениях  $\Delta h_m$ :  $\Sigma \Delta h_n = \Delta h_l + \Delta h_m$ .

Гидравлические потери в местных сопротивлениях определяются из выражения (формула Дарси-Вейсбаха)

$$\Delta h_m = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (4.2)$$

а гидравлические потери на трение по длине (формула Дарси)

$$\Delta h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}. \quad (4.3)$$

Безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda$  зависит от режима течения жидкости (ламинарного или турбулентного) и выражается через критерий Рейнольдса (Re):

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (4.4)$$

для ламинарного режима течения ( $Re \leq 2320$ ) и для турбулентного режима течения в зависимости от зоны сопротивления (величины  $Re > 2320$ ):

– при  $2320 < Re < 56 \frac{d}{\Delta}$  (зона гидравлически гладких труб)

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}; \quad (4.5)$$

– при  $56 \frac{d}{\Delta} < Re < 500 \frac{d}{\Delta}$  (зона доквадратичного режима течения)

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25};$$

– при  $Re > 500 \frac{d}{\Delta}$  (зона квадратичного режима течения)

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}.$$

Для участка трубы с переменным сечением  $\Sigma \Delta h_n$  определяется по большей скорости  $v$ , т.е. по меньшему сечению  $F$ . Перепад давления  $\Delta p$ , соответствующий части напора  $\Sigma \Delta h_n$ , потерянный на преодоление гидравлического сопротивления, определяется по общей формуле

$$\Delta p = \Sigma \Delta h_n \rho g. \quad (4.6)$$

#### Описание установки

Рабочий участок гидравлического стенда (см. рис. 2.1) для данной лабораторной работы представляет собой трубу переменного сечения, включающую участки с внезапным расширением и сужением, изгибом и дроссельным сопротивлением (рис. 4.1). Чтобы исключить влияние силы тяжести (сократить  $z_1 = z_2 = z_3 = \dots = z_n$  в формуле 4.1), ось трубы располагают в

горизонтальной плоскости. На участке 1–2 диаметр трубы – постоянный, на участках 2–3 и 3–4 – внезапное расширение и сужение (соответственно) трубы, участки 4–5 и 5–6 характерны изгибом трубы на угол  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha > 90^\circ$ , на участке 6–7 имеется дроссельное сопротивление (запорный кран). Участок 1–2 используется для определения потерь на трение, остальные – для определения соответствующих коэффициентов местных сопротивлений.

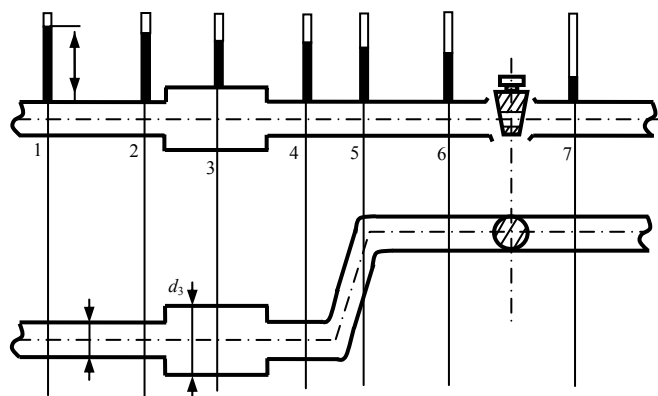


Рис. 4.1. Труба с различными гидравлическими сопротивлениями

Для определения сопротивления  $\sum \Delta h_n$  в соответствии с формулой (4.1) на входе и выходе каждого участка измеряется статическое давление посредством трубок – пьезометров, соединённых с приёмными отверстиями в стенке трубы. Средняя скорость потока на входе и выходе каждого участка определяется по измеренному расходу воды и площади сечения трубы. Внутренний диаметр трубы в сечениях 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 одинаков и равен  $d_1 = d_2 = d_4 = d_5 = d_6 = d_7 = 14$  мм, диаметр  $d_3 = 28$  мм. Длина участка  $l_{1-2} = 180$  мм.

#### Порядок выполнения работы

1. При закрытых кранах 6 и 7 (рис. 2.1), включить насос 9, открыть кран участка 6–7 (рис. 4.1). Плавнo открывая краны 8 и 18, достигнyть постоянного расхода в рабочем участке. При этом наблюдается постоянство показаний манометра 1.
2. Записать показания пьезометров статического давления в каждом из семи сечений.
3. Измерить расход воды, для чего по показаниям часов записать время наполнения мерного бачка объёмом  $V$  литров (объём определяется предварительной тарировкой).
4. После проведения опытов отключить насос, закрыть краны 8, 18.

#### Протокол эксперимента

Режим	Измеряемые величины							V, м³	τ, с
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	h <sub>5</sub>	h <sub>6</sub>	h <sub>7</sub>		
	мм вод. ст								

#### Методические указания по обработке опытных данных

1. Объёмный расход воды

$$Q = \frac{V}{\tau}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $V$  – замеренный объём воды,  $\text{м}^3$ ;  $\tau$  – время наполнения объёма, с.

2. Скорость воды в трубопроводе

$$v_i = \frac{Q}{F_i}, \text{ м/с},$$

где  $F_i = \frac{\pi d_i^2}{4}$  – площадь поперечного сечения трубы,  $\text{м}^2$ .

Радиусы поперечных сечений 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 трубы

$$R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 7 \text{ мм}; R_3 = 14 \text{ мм}.$$

3. Потери на трение по длине на участке 1–2

$$\Delta h_{l_{1-2}} = \frac{(p_1 - p_2)}{\rho g} = (h_1 - h_2), \text{ м},$$

где  $(h_1 - h_2)$  – разница уровней в пьезометрах на входе и выходе участка 1–2, м;  $\rho$  – плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ .

4. Местные потери на участке 2–3 (внезапное расширение)

$$\Delta h_{m_{2-3}} = \frac{(p_2 - p_3)}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_3^2}{2g} = (h_2 - h_3) + \frac{v_2^2 - v_3^2}{2g}, \text{ м.}$$

5. Местные потери на участке 3–4 (внезапное сужение)

$$\Delta h_{m_{3-4}} = \frac{(p_3 - p_4)}{\rho g} + \frac{v_3^2 - v_4^2}{2g} = (h_3 - h_4) + \frac{v_3^2 - v_4^2}{2g}, \text{ м.}$$

6. Местные потери на участке 4–5 (изгиб  $\alpha = 90^\circ$ )

$$\Delta h_{m_{4-5}} = \frac{(p_4 - p_5)}{\rho g} = (h_4 - h_5), \text{ м.}$$

7. Местные потери на участке 5–6 (изгиб  $\alpha > 90^\circ$ )

$$\Delta h_{m_{5-6}} = \frac{(p_5 - p_6)}{\rho g} = (h_5 - h_6), \text{ м.}$$

8. Местные потери на участке 6–7 (кран)

$$\Delta h_{m_{6-7}} = \frac{(p_6 - p_7)}{\rho g} = (h_6 - h_7), \text{ м.}$$

9. Коэффициент сопротивления трения (из формулы (4.3))

$$\lambda = \Delta h_{l_{1-2}} d_1 \frac{2g}{l_{1-2}} v_1^2, .$$

где  $d_1 = 0,014$  м;  $l_{1-2} = 0,18$  м.

10. Коэффициент местных сопротивлений (из формулы (4.2))

$$\zeta_{2-3} = \Delta h_{m_{2-3}} \frac{2g}{v_2^2} .$$

11. Число Рейнольдса на участке 1–2

$$\text{Re} = v_1 \frac{d_1}{\nu} .$$

12. Коэффициент гидравлического сопротивления трения (расчётный)

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_p = \frac{64}{\text{Re}} \text{ при } \text{Re} \leq 2320; \\ \lambda_p = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}} \text{ при } 2320 < \text{Re} < 56 \frac{d}{\Delta}; \\ \lambda_p = 0,11 \left( \frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \text{ при } 56 \frac{d}{\Delta} < \text{Re} < 500 \frac{d}{\Delta}; \\ \lambda_p = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \text{ при } \text{Re} > 500 \frac{d}{\Delta}. \end{array} \right.$$

### Содержание отчёта

1. Протокол эксперимента со схемой установки.
2. Сравнения  $\lambda$  с  $\lambda_p$ .
3. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Что такое гидравлические потери и каких видов они бывают?
2. Как определяются коэффициент местного сопротивления  $\zeta$  и коэффициент гидравлического сопротивления на трение по длине  $\lambda$ ?
3. Опишите схему лабораторной установки и порядок выполнения работы.