

Лабораторная работа

Определение коэффициента гидравлического трения (коэффициента Дарси)

Цель работы:

- изучение способов определения коэффициента гидравлического трения;
- определение коэффициента гидравлического трения стального трубопровода;
- построение графических зависимостей коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса.

4.1 Краткие теоретические сведения

Наиболее общей формулой для определения потерь напора на трение подлинне трубопровода как при ламинарном, так и турбулентном режимах движения является формула Вейсбаха – Дарси

$$h_{\text{дл}} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (4.1)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения, или коэффициент Дарси;

l, d – длина и диаметр участка трубы, на котором определяются потери напора $h_{\text{дл}}$;

v – средняя скорость течения жидкости.

Для определения $h_{\text{дл}}$ в трубах произвольного поперечного сечения в формулу (4.1) вместо d подставляют гидравлический диаметр D .

Исследованиями установлено, что коэффициент гидравлического трения в общем случае зависит от числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости стенок Δ_s/d , где Δ_s – абсолютная величина так называемой эквивалентной равномерно-зернистой шероховатости (физический смысл Δ_s см. в [2, 3]). Определение λ находится в тесной связи с воззрениями на структуру турбулентного потока, в соответствии с которыми считают, что турбулентный поток состоит из турбулентного ядра и приграничного ламинарного слоя, расположенного у стенок трубы. Толщина приграничного ламинарного слоя $\delta_{\text{нл}} = 30d/(Re\sqrt{\lambda})$. При $\delta_{\text{нл}} > \Delta$ труба является гидравлически гладкой, где Δ – абсолютная шероховатость стенок трубы.

При $\delta_{\text{нл}} < \Delta$ (т. е. неровности стенки выступают за пределы ламинарного слоя) труба является гидравлически шероховатой.

Таким образом, одна и та же труба в зависимости от режима течения жидкости может быть как гидравлически гладкой, так и гидравлически шероховатой.

В настоящее время существует несколько способов определения коэффициента гидравлического трения λ . Рассмотрим их.

Первый способ. В соответствии с этим способом λ определяется экспериментальным путем. Обозначим определяемый таким образом коэффициент гидравлического трения $\lambda_{\text{э}}$. Из уравнения (4.1)

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{2h_{\text{дл}} d g}{lv^2}, \quad (4.2)$$

где $h_{\text{дл}}$ и v определяются на основе экспериментальных данных. Для горизонтального трубопровода постоянного сечения

$$h_{\text{дл}} = h_{\text{нн}} - h_{\text{нк}}, \quad (4.3)$$

где $h_{\text{нн}}$, $h_{\text{нк}}$ – пьезометрические напоры соответственно в начале и в конце исследуемого трубопровода.

Второй способ. В соответствии с этим способом все возможные режимы течения жидкости разбиваются на пять зон сопротивления. Для каждой зоны рекомендована одна или несколько формул, на основе которых вычисляется значение λ . Для выбора зоны, а следовательно, и формулы для вычисления λ необходимо знать значения Re , d , $\Delta_{\text{э}}$. Определяемый далее коэффициент гидравлического трения в соответствии со вторым способом обозначен λ_p .

Зоны, их границы и формулы, используемые для вычисления λ , следующие [4, 6].

Зона 1 – вязкого сопротивления; движение ламинарное; $Re < 2320$.

$$\lambda = 64/Re. \quad (4.4)$$

Зона 2 – турбулентного течения жидкости в переходной области; $2320 < Re < 4000$. Для вычисления коэффициента гидравлического трения в этой зоне используется формула Френкеля

$$\lambda = 2,7/Re^{0,53}. \quad (4.5)$$

Зона 3 – гидравлически гладких труб; $4000 < Re < 20 \frac{d}{\Delta_{\text{э}}}$.

Для вычисления λ в этой зоне пользуются формулой Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (4.6)$$

или формулой Конакова

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2}. \quad (4.7)$$

Зона 4 – доквадратичного сопротивления, переходная от зоны гидравлически гладких труб к зоне квадратичного сопротивления; $20 \frac{d}{\Delta_э} < Re < 500 \frac{d}{\Delta_э}$. Расчет λ в этой зоне выполняют по формуле Альтшуля

$$\lambda \approx 0,11 \left(\frac{\Delta_э}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}. \quad (4.8)$$

Зона 5 – квадратичного сопротивления (автомодельности); $Re > 500 \frac{d}{\Delta_э}$.

Для расчета λ в этой зоне широко применяется формула Шифринсона

$$\lambda = 011 \left(\frac{\Delta_э}{d} \right)^{0,25}. \quad (4.9)$$

Таким образом, в первых трех зонах λ зависит только от числа Рейнольдса, т. е. $\lambda = f(Re)$, в четвертой зоне λ зависит от числа Рейнольдса и относительной шероховатости стенки трубопровода, т. е. $\lambda = f(Re, \Delta_э/d)$, а в пятой зоне λ зависит только от относительной шероховатости стенки трубопровода, т. е. $\lambda = f(\Delta_э/d)$.

При решении задач в области машиностроительной гидравлики часто выделяют две зоны. Первая соответствует ламинарному режиму течения ($Re < 2320$), для которого λ вычисляют по формуле (4.4), а вторая – турбулентному режиму течения ($Re > 2320$), для которого значения λ определяют по формуле Блазиуса (4.6). При подстановке в формулу Вейсбаха – Дарси $\lambda = 64/Re$ получают формулу Пуазейля

$$h_{дл} = \frac{32 \nu l}{g d^2} v. \quad (4.10)$$

Третий способ. В соответствии с этим способом при турбулентном течении жидкости ($Re > 4000$) значение λ для стальных труб можно определить графически (например, по графикам Мурина или Никурадзе) [1, с. 74]. Для определения λ по графикам Мурина необходимо знать Re и d/Δ , а по графикам Никурадзе – Re и $d/\Delta_э$.

4.2 Проведение испытаний

Объектом испытаний в данной работе является стальной трубопровод (участок *аб*, от сечения 8–8 до сечения 9–9), схема которого представлена рисунке 4.1.

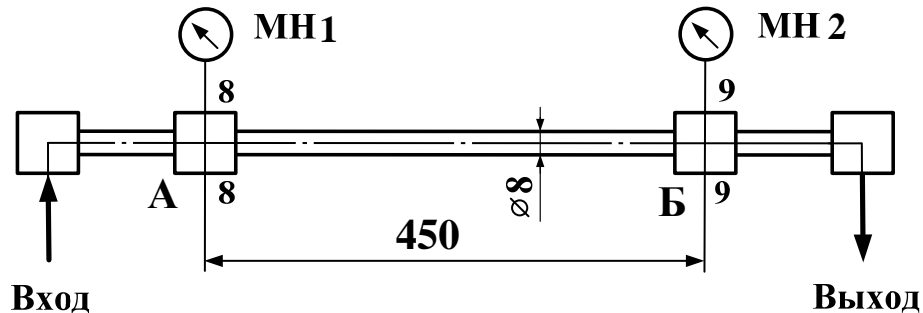


Рисунок 4.1 – Схема исследуемого трубопровода

Размеры на схеме приведены в миллиметрах. Внутренний диаметр трубопровода – 8 мм. К начальному 8–8 и конечному 9–9 сечениям исследуемого трубопровода подключены манометры МН1 и МН2. Эквивалентная шероховатость внутренней стенки трубопровода $\Delta_{\varnothing} = 0,1$ мм [4].

4.2.1 Подготовка установки к работе. Перед включением установки необходимо убедиться, что:

- маховик управления регулятора расхода РР полностью повернут против часовой стрелки (указатель положения маховика установлен в позицию «1»);
- тумблеры управления гидрораспределителями установлены в положение «Выкл.»;
- тумблер установки режима работы электронного секундомера установлен в положение «Ручн.», а тумблер включения питания секундомера – в нижнее положение.

4.2.2 Проведение эксперимента. Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), питание электронного секундомера (тумблер установить в положение «Вкл.»). Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Включить тумблер Р1 в нижнее положение «Вкл. 2». При этом жидкость от насоса через распределитель Р1 направляется к исследуемому трубопроводу (установлен на нижней панели стенда).

При различных настройках регулятора расхода РР провести шесть опытов. Первый опыт проводить при минимальном, а шестой – при максимальном расходах (смотреть по расходомеру РА1).

В каждом опыте необходимо измерять:

- давления p_1 и p_2 (по манометрам МН1 и МН2), МПа;
- время t прохождения через расходомер объема жидкости, с. Объемом $W_{жс}$ необходимо задаться, приняв его, например, равным во всех опытах $5 \cdot 10^{-3}$ м³ (5 л);

– температуру рабочей жидкости T , °С (по термометру).
Результаты измерения занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты исследований

Номер опыта		1	2	3	4	5	6
Показания манометров, МПа	p_1						
	p_2						
Потери напора $h_{\text{дл}}$, м							
Объем жидкости $W_{\text{жс}}$, проходящей через счетчик, м ³		$5 \cdot 10^{-3}$					
Время прохождения объема t , с							
Температура рабочей жидкости T , °С							
Расход $Q = W_{\text{жс}} / t$, м ³ /с							
Средняя скорость v , м/с							
Кинематическая вязкость ν , м ² /с							
Число Рейнольдса Re							
Коэффициент гидравлического трения	$\lambda_{\text{э}}$						
	$\lambda_{\text{р}}$						

После выполнения всех опытов необходимо маховик регулятора расхода РР повернуть до ограничения против часовой стрелки (указатель положения маховика в позиции «1»), тумблер управления гидрораспределителем Р1 установить в среднее положение, выключить электрическое питание секундомера, электродвигателя и стенда.

4.3 Обработка результатов

Потери напора на участке между сечениями 8–8 и 9–9 трубопровода (потери по длине)

$$h_{\text{дл}} = \frac{p_1 - p_2}{\rho g},$$

где ρ – плотность масла, $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$.

Давления p_1 и p_2 необходимо подставлять в формулу в паскалях. Расход жидкости в трубопроводе

$$Q = \frac{W_{\text{жс}}}{t}.$$

Средняя скорость жидкости в трубопроводе

$$v = \frac{Q}{A_{mp}},$$

где A_{mp} – площадь сечения трубопровода (внутренний диаметр трубопровода $d = 8 \cdot 10^{-3}$ м (8 мм)).

Кинематическую вязкость определяют по графику $\nu = f(T)$, который имеется в лаборатории (масло МГЕ-46В).

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{v d}{\nu}.$$

Коэффициент гидравлического трения λ_{ϑ} , определяемый экспериментальным путем, необходимо вычислять по формуле (4.2).

Для определения коэффициента гидравлического трения расчетным путем (обозначен λ_p) необходимо для каждого опыта установить, в какой зоне гидравлического сопротивления происходит течение жидкости.

Для определения зоны гидравлического сопротивления необходимо использовать численное значение Re (из таблицы 4.1).

После установления зоны, в которой происходит течение жидкости, нужно воспользоваться формулой, рекомендуемой для вычисления λ в этой зоне. Так, например, если течение происходит в первой зоне ($Re < 2320$), то нужно воспользоваться формулой (4.4), т. е. $\lambda = 64/Re$.

После выполнения всех расчетов **необходимо построить графические зависимости** $\lambda_{\vartheta} = f_1(Re)$ и $\lambda_p = f_2(Re)$ (лучше это сделать на одном рисунке) и проанализировать полученные результаты.

Контрольные вопросы

- 1 Устройство лабораторного стенда.
- 2 Как определять потери на трение по длине трубопровода?
- 3 Методика экспериментального определения коэффициента гидравлического трения.
- 4 Методика расчетного определения коэффициента гидравлического трения.
- 5 Какие факторы влияют на величину потерь на трение по длине трубопровода?
- 6 Что такое гидравлически гладкие и гидравлически шероховатые трубы?
- 7 Поясните физический смысл эквивалентной шероховатости труб Δ_{ϑ} .