

5 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПОРА НА ТРЕНИЕ ПО ДЛИНЕ ТРУБОПРОВОДА И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ λ

Цель работы: определять опытным путем гидравлический коэффициент трения λ при различных скоростях движения воды в трубопроводе, сравнив со значениями λ , вычисленными по формулам.

Оборудование и приборы: установка для исследования путевых потерь напора, термометр, измерительная линейка, мерный сосуд, секундомер.

5.1 Теоретические сведения

В уравнении Бернулли член h_f учитывает потери напора на преодоление всех видов сопротивлений движению жидкости. В гидравлике различают два вида сопротивлений:

1) Сопротивления, пропорциональные длине трубы, от сил вязкостного трения частиц жидкости друг о друга и об ограничивающие стенки. Соответствующие им потери напора (потери по длине) обозначаются через h_l ;

2) Местные сопротивления, обусловленные различного рода препятствиями, установленными на трубопроводе (соединения труб, вентили, расходомеры, дроссели и др.), приводящие к изменению размеров и формы сечения и направления потока, а значит, к изменению величины и направления скорости движения жидкости. Соответствующие им потери напора (местные потери) обозначаются через h_w .

Поэтому полные потери напора в трубопроводе при наличии сопротивлений обоих видов будет

$$h_f = h_l + h_w, \text{ м} \quad (5.1)$$

Потери напора по длине определяются по основной трубопроводной формуле Дарси-Вейсбаха

$$h_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \text{ м} \quad (5.2)$$

Безразмерная величина $\lambda \cdot \frac{l}{d}$ называется коэффициентом вязкостного сопротивления и по существу является критерием подобия Эйлера.

Как показывают опыты, потери напора на преодоление двух видов гидравлических сопротивлений зависят глазным образом от скорости движения жидкости, поэтому потерянный напор выражают в долях скоростного напора.

Потери напора по длине при ламинарном режиме пропорциональны скорости в первой степени, а при турбулентном - скорости в степени, изменяющейся от 1,75 до 2.

Формула (5.2) универсальна и справедлива как для ламинарного, так и для турбулентного режимов движения. Хотя структура формулы остается неизменной, коэффициент λ для различных зон ламинарного и турбулентного режимов движения вычисляется совершенно по другим формулам. Многочисленными исследованиями доказано, что коэффициент λ в общем случае зависит не только от числа Re но и от шероховатости стенок трубы.

В связи с этим различают 5 зон сопротивления, в которых изменение λ имеет свою закономерность:

I – зона ламинарного режима ($Re < 2320$), в которой λ зависит только от числа Re и не зависит от эквивалентной шероховатости стенок трубы Δ , значения которой приводятся в гидравлических справочниках. В этой зоне потери напора по длине пропорциональны скорости в первой степени.

Коэффициент λ вычисляется по теоретической формуле Пуазейля

$$\lambda_I = \frac{64}{Re} \quad (5.3)$$

II - переходная зона (зона перехода от ламинарного режима к турбулентному и наоборот, $2320 < Re < 4500$).

В этой зоне потери напора по длине пропорциональны средней скорости в степени от 1 до 1,75.

Коэффициент λ вычисляется по формуле

$$\lambda_{II} = 0,027 + 0775 \cdot (Re - 2320) \cdot 10^{-5} \quad (5.4)$$

На практике в этой зоне наиболее вероятен турбулентный режим, поэтому можно пользоваться формулами зоны III.

Три остальные зоны находятся в области турбулентного режима. Для того, чтобы определить границы существования этих зон, необходимо сравнить величину произведения числа Re на относительную шероховатость (Δ/d) с двумя критериальными числами 10 и 500.

III - зона гидравлически гладких труб при ($Re \cdot \frac{\Delta}{d} < 10$).

В этой зоне потери напора по длине пропорциональны средней скорости в степени 1,75.

Коэффициент λ вычисляется по формуле Блазиуса.

$$\lambda_{III} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (5.5)$$

Из формулы (5.5) следует, что в этой зоне, как и в предыдущих зонах, коэффициент λ зависит также от числа Re и не зависит от шероховатости стенок трубы.

IV - зона неполной шероховатости ($10 < Re \cdot \frac{\Delta}{d} < 500$).

Эту зону называют еще зоной докватратичного сопротивления, в которой потери напора по длине пропорциональны средней скорости в степени от 1,75 до 2.

Коэффициент λ вычисляется по формуле Альтшуля

$$\lambda_{IV} = 0,11 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta}{d} + \frac{64}{Re}} \quad (5.6)$$

Из формулы (5.6) следует, что в этой зоне коэффициент λ зависит как от числа Re , так и от относительной шероховатости стенок трубы.

V – зона полной шероховатости (кватратичная) ($Re \cdot \frac{\Delta}{d} > 500$).

В случае шероховатых стенок потери напора по длине пропорциональны квадрату средней скорости.

Коэффициент λ вычисляется по формуле Шифринсона

$$\lambda_V = 0,11 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta}{d}} \quad (5.7)$$

Как видно из формулы (5.7) коэффициент λ зависит только от относительной шероховатости.

Итак, для нахождения потерь напора по длине необходимо предварительно выявить зону, а затем определять λ по соответствующей этой зоне формуле, от правильного выбора которой зависит точность гидравлических расчетов.

В соответствии с величиной этих потерь подбирают гидромашину, которые способны преодолеть рассчитанные сопротивления и транспортировать заданное количество жидкости, обеспечивая заданный конечный напор.

Все вышесказанное можно представить в виде структурно-логической схемы (рисунок 5.1).

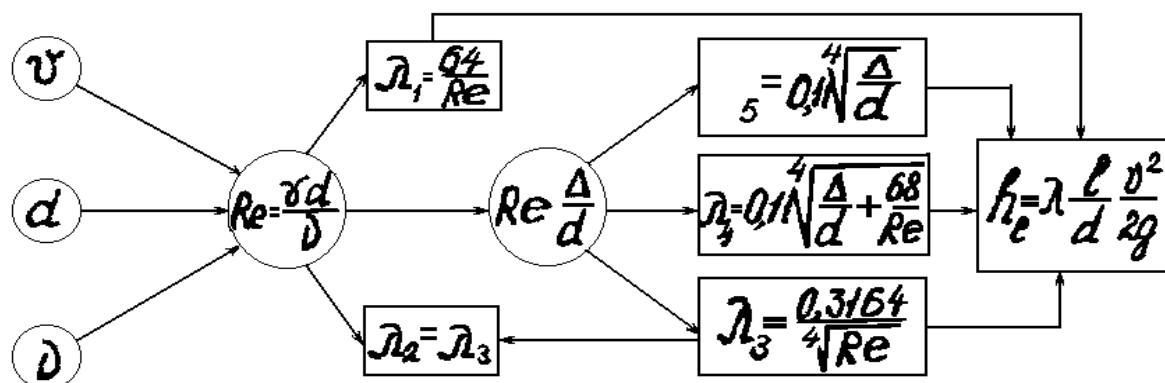
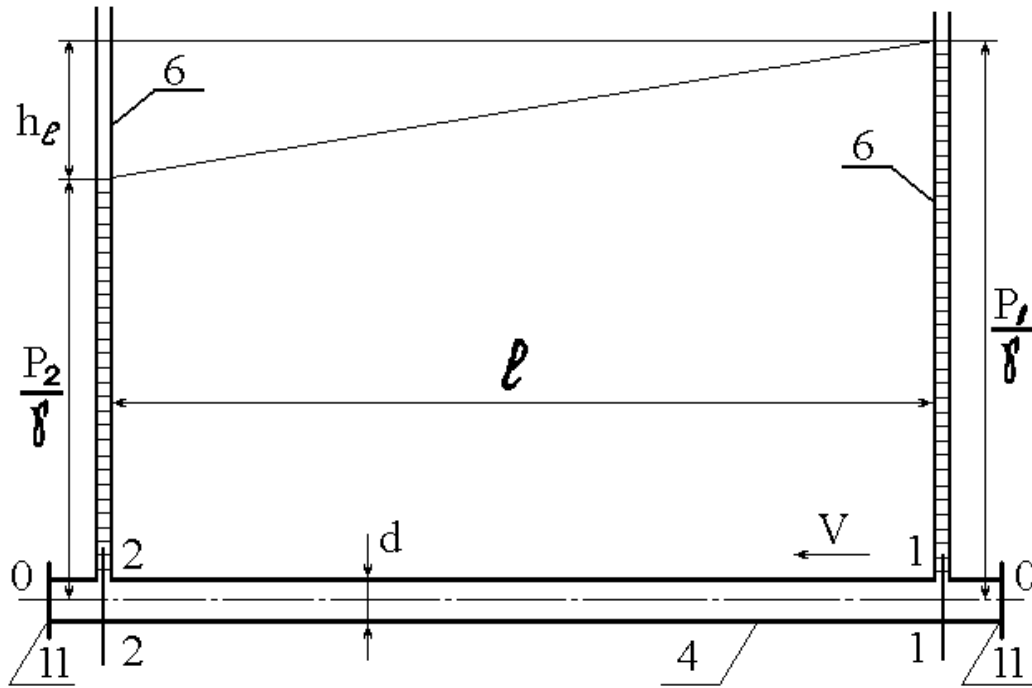


Рисунок 5.1 - Структурная схема определения потерь напора по длине

5.2 Схема установки

Опыты проводятся на универсальной установке, на которой к присоединительным фланцам 11 напорного и приемного баков монтируется трубопровод 4 постоянного сечения с двумя пьезометрами 6 в начале и конце трубопровода. Фрагмент установки показан на рисунке 5.2. По показаниям пьезометров измеряются потери напора по длине. Регулирование расхода осуществляется сливным краном, а измерение расхода - объемным способом (мерной емкостью).



- 4 - сменный трубопровод постоянного поперечного сечения;
- 6 - пьезометры, установленные в начале и конце трубопровода;
- 11 - присоединительные фланцы.

Рисунок 5.2 - Фрагмент схемы установки

5.3 Получение и обработка результатов

Повести три опыта по определению потерь напора.

Произвести необходимые измерения. Измерить:

- высоту столба жидкости в 1-м пьезометре;
- высоту столба жидкости во 2-м пьезометре;
- температуру воды;
- время наполнения мерного сосуда;
- расстояние между пьезометрами;
- внутренний диаметр трубы;
- эквивалентную шероховатость;
- емкость мерного сосуда.

Данные измерений занести в таблицу 5.1.

Произвести расчеты по формулам таблицы 5.1. Используя результаты измерений, вычислить:

- потери напора по длине;
- площадь поперечного сечения трубы;
- расход воды в трубопроводе;
- среднюю скорость воды в трубопроводе;
- скоростной напор;
- гидравлический коэффициент трения по опытам;
- число Рейнольдса;
- произведение относительной шероховатости на число Re ;
- гидравлический коэффициент трения по формулам (5.3) – (5.7)
- относительную погрешность коэффициента трения.

Результаты вычислений занести в таблицу 5.1.

5.4 Контрольные вопросы

- 1) Что характеризует гидравлический коэффициент трения?
- 2) Что характеризует коэффициент вязкостного сопротивления?
- 3) Потери напора на трение при ламинарном течении пропорциональны средней скорости потока в какой степени?
- 4) Как изменятся потери напора на трение при изменении длины участка трубопровода?
- 5) Как изменятся потери напора на трение при изменении диаметра трубопровода?
- 6) По какой формуле определяются потери напора на трение для ламинарного и турбулентного режимов движения потока? Чем они отличаются друг от друга?

Таблица 5.1 – Результаты измерений и расчетов

№ п/п	Наименования показателей	Обозначения, формулы, размерность	ОПЫТЫ		
			1	2	3
1	Показания 1-го пьезометра	$\frac{p_1}{\rho g}$, м			
2	Показания 2-го пьезометра	$\frac{p_2}{\rho g}$, м			
3	Потери напора по длине	$h_1 = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g}$, м			
4	Время наполнения мерного сосуда	t, с			
5	Расход воды в трубопроводе	$Q = \frac{W}{t}$, м ³ /с			
6	Средняя скорость воды в трубопроводе	$V = \frac{Q}{\omega}$, м/с			
7	Скоростной напор	$\frac{V^2}{2g}$, м			
8	Гидравлический коэффициент трения по опытам	$\lambda_{оп} = \frac{h_1}{\frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}}$			
9	Число Рейнольдса	$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$			
10	Произведение относительной шероховатости на число Re	$\frac{\Delta}{d} \cdot Re$			
11	Гидравлический коэффициент трения по формулам	$\lambda_{ф}$			
12	Относительная погрешность коэффициента трения	$\delta\lambda = \frac{\lambda_{ф} - \lambda_{оп}}{\lambda_{ф}} \cdot 100$			
13	Расстояние между пьезометрами	l, м			
14	Внутренний диаметр трубы	d, м			
15	Площадь поперечного сечения	$\omega = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, м ²			
16	Эквивалентная шероховатость	Δ , м			
17	Относительная шероховатость	$\frac{\Delta}{d}$			
18	Емкость мерного сосуда	W, м ³			
19	Температура воды	t ⁰ C			
20	Кинематический коэффициент вязкости	$\nu = \frac{0,0178}{1 + 0,0337 \cdot t^{0}C + 0,000221 \cdot (t^{0}C)^2}$, м ² /с			

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика: учебник / А.Д.Альтшуль, Л.С.Животовский, Л.П.Иванов. - М.: Стройиздат, 1987. - 413. - Библиогр.: с. 409.
- 2 Альтшуль, А.Д. Примеры расчетов по гидравлике: Учебное пособие. / А.Д.Альтшуль, В.И.Калицун, Ф.Г.Майрановский и др.- М.: Стройиздат, 1976. – 256 с.
- 3 Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика. Справочное пособие. / Т.М.Башта. - М.: Машиностроение, 1973.
- 4 Большаков, В.А. Гидравлика: Общий курс: учеб. / В.А.Большаков, В.Н.Попов. - Киев: Вища. шк., 1989. - 215 с.: ил. - Библиогр.: с. 205-206.
- 5 Вильнер, Я.М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. / Я.М.Вильнер, Я.Т.Ковалёв, Б.Б.Некрасов. - Минск: Высшая школа, 1985.
- 6 Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учеб. для вузов / Т.М.Башта, С.С.Руднев, Б.Б.Некрасов и др. - 2-е изд. перераб. - М.: Машиностроение, 1982. - 423 с. - Библиогр.: с. 418.
- 7 Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод: учеб. пособие для вузов / под ред. С. П. Стесина. - М.: Академия, 2005. - 335 с. - (Высшее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 332.
- 8 Гидравлика и гидропривод: учеб. пособие / Н.С.Гудилин, Е.М.Кривенко, Б.С.Маховиков, И.Л.Пастоев; Ред. И.Л.Пастоев. - 3-е изд., стереотип. - М.: МГГУ, 2001. - 519 с.: ил. - (Высшее горное образование). - Библиогр.: с. 518.
- 9 Гидравлика: учеб. пособие для ВУЗов / А.Д.Тян, М.К.Скаков, Ю.К.Назаров, В.А.Петров. - Алма-Ата: Рауан, 1992. – 240 с.
- 10 Константинов, Ю.М. Гидравлика: учеб. для вузов / Ю.М.Константинов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киев: Вища шк., 1988. - 398. - Библиогр.: с. 386.
- 11 Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник / Л.Г.Лойцянский. - 7-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.
- 12 Механика жидкости и газа: учеб. пособие / Ред. В.С.Швыдкой. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2003. - 462 с.: рис., табл. - Библиогр.: с.458.
- 13 Примеры гидравлических расчетов: Учеб. Пособие / Под ред. А.И. Богомолова - 2-е изд., перераб. - М.: Транспорт, 1977. – 526 с.
- 14 Сугуров, Ш.Б. Гидравлика (на казахском языке). / Ш.Б.Сугуров - Алматы, 1988. -198 с.
- 15 Ухин, Б.В. Гидравлика: учебник / Б.В.Ухин, А.А.Гусев. - М.: Инфра-М, 2008. - 431 с.: табл. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 413-416.