

1 Лабораторная работа № 1. Измерение давления и расхода, определение режима течения жидкости

Цель работы:

- ознакомление с физической сущностью основных величин гидравлики, единицами и средствами, используемыми для их измерения;
- ознакомление с режимами течения жидких и газообразных сред и методикой их определения;
- экспериментальное определение режимов течения жидкости.

1.1 Краткие теоретические сведения

Основными величинами гидравлики и пневматики являются давление p и расход (объемный) Q .

Произведение основных величин для всех типов систем представляет собой не что иное, как **мощность** (в ваттах), т. е.

$$N = p Q \quad (N = U I; N = F v; N = M \omega).$$

1.1.1 Давление. Давление – это напряжение, возникающее в жидкости или газе в результате действия сжимающих сил и сил трения.

Различают давление среднее и давление в точке. Чаще всего используют среднее давление p :

$$p = \frac{F}{A}, \quad (1.1)$$

где F – сила сжатия, приходящаяся на поверхность площадью A .

Избыточное давление $p_{изб}$ отсчитывается от нуля, за который принято атмосферное давление p_a .

Величина атмосферного давления p_a зависит от ряда факторов: высоты над уровнем моря, погодных условий и др.

При решении большинства инженерных задач атмосферное давление p_a можно считать постоянной величиной, равной 0,1 МПа (750 мм рт. ст.).

За единицу давления в международной системе единиц (СИ) принят паскаль – давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м². Наряду с этой единицей давления применяют более крупные единицы – килопаскаль и мегапаскаль:

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 10^{-3} \text{ кПа} = 10^{-6} \text{ МПа}.$$

В технике для измерения давления используют также внесистемные единицы – атмосферу техническую и бар:

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 98100 \text{ Па};$$

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 1,02 \text{ ат}.$$

Одно и то же давление, в зависимости от рода жидкости, может быть создано столбом различной высоты. Так, например, давление, равное 1 ат, создается столбом воды высотой 10 м, ртути – 0,736 м, т. е.

$$1 \text{ ат} = 10 \text{ м вод. ст.} = 736 \text{ мм рт. ст.}$$

Существует также единица измерения давления – атмосфера физическая:

$$1 \text{ атм} = 101325 \text{ Па} = 10,33 \text{ м вод. ст.} = 760 \text{ мм рт. ст.}$$

Для измерения давления жидкостей и газов используют **пьезометры**, а также жидкостные, механические и электрические **манометры** [1, 2]. В технике для измерения давления наибольшее применение находят механические и электрические манометры.

С помощью манометров измеряют **избыточное давление**.

Для измерения вакуумметрического давления используют **вакуумметры**.

Существуют также комбинированные приборы – **мановакуумметры**, которые позволяют измерять как **избыточное**, так и **вакуумметрическое** давление.

Важнейшей характеристикой манометра является **класс точности** (указывается на циферблате). Манометры бывают следующих классов точности: 0,1; 0,15; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Допустимая ошибка измерения давления манометром

$$\Delta = \frac{K \cdot P}{100}, \quad (1.2)$$

где K – класс точности манометра;

P – верхний предел измерения давления.

Для измерения давления с повышенной точностью используют *образцовые манометры*. Образцовые манометры имеют класс точности 0,1; 0,15; 0,25 или 0,4.

1.1.2 Расход. Второй важнейшей величиной гидравлики и пневматики является расход. Это количество жидкости (газа), проходящей через живое сечение потока в единицу времени.

Различают объемный Q , м³/с, весовой Q_G , Н/с, и массовый Q_M , кг/с, расходы.

Основной величиной в гидравлике является **объемный расход**.

Наиболее простым способом измерения расхода является объемный с помощью мерного бака. Суть его заключается в том, что измеряется время t прохождения через систему определенного объема жидкости $W_{жс}$, которая поступает в мерный бак. Зная $W_{жс}$ и t , вычисляют объемный расход Q :

$$Q = W_{жс}/t. \quad (1.3)$$

На практике наиболее широкое применение для измерения расхода находят расходомеры, которые бывают двух типов: **объемные** и **скоростные** [2]. Следует также учитывать, что расходомеры могут быть интегрирующего типа, а могут измерять мгновенное значение расхода.

1.1.3 Режимы течения жидкости. Исследованиями ученых (Г. Хаген (1869), Д. И. Менделеев (1880), О. Рейнольдс (1881–1883)) установлено существование двух режимов течения жидкости: **ламинарного** и **турбулентного**.

Ламинарным называется такой режим, при котором поток жидкости движется отдельными струйками или слоями и траектории отдельных частиц жидкости между собой не пересекаются; линии тока совпадают с траекториями частиц.

Турбулентным называется такой режим, при котором течение является возмущенным, частицы жидкости перемешиваются, а траектории частиц представляют сложные линии, пересекающиеся между собой.

Для определения режима движения жидкости используется безразмерный критерий, который называют **числом Рейнольдса** и обозначают символом Re .

Для напорного движения в круглых трубах

$$Re = \frac{v d}{\nu}, \quad (1.4)$$

где v – средняя скорость движения потока жидкости, м/с;

d – диаметр трубы, м;

ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

Смене режимов движения соответствует численное значение числа Рейнольдса, которое называют критическим: $Re = 2320$.

При $Re < 2320$ режим движения **ламинарный**, а при $Re > 2320$ – **турбулентный**.

Режимом движения интересуются из энергетических соображений.

1.2 Проведение испытаний

Объектом испытаний в данной работе является стальной трубопровод на участке **вг**. Для этого участка трубопровода необходимо научиться экспериментально определять режимы течения жидкости.

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

- маховик управления регулятором расхода РР полностью вывернут против часовой стрелки (указатель положения маховика установлен в позицию «1»);
- тумблеры управления гидрораспределителями Р1 и Р2 установлены в положение «Выкл.»;
- тумблер установки режима работы электронного секундомера установлен в положение «Ручн.», а тумблер включения питания секундомера – в нижнее положение.

1.2.2 Определение режима течения жидкости. 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 будет поступать к трубопроводу, установленному на нижней панели (участок *в2*, в начале этого участка установлен манометр МН8, а в конце – манометр МН9).

При различных настройках регулятора расхода провести шесть опытов. В каждом опыте необходимо измерять:

- время прохождения t , с, через расходомер объема жидкости $W_{жс}$. Объемом $W_{жс}$ необходимо задаться, приняв его, например, равным во всех опытах $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (5 л);
- температуру рабочей жидкости T , °С (по термометру);
- давления p_8 и p_9 , МПа (по манометрам МН8 и МН9).

Результаты измерений занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты исследований

Номер опыта	1	2	3	4	5	6
Время t прохождения через расходомер объема жидкости, с						
Объем жидкости $W_{жс}$, м ³	$5 \cdot 10^{-3}$					
Температура рабочей жидкости T , °С						
Давление p_8 (МН8), МПа						
Давление p_9 (МН9), МПа						
Расход Q , м ³ /с						
Средняя скорость v , м/с						
Кинематическая вязкость ν , м ² /с						
Число Рейнольдса Re						
Режим течения						
Мощность потока N_8 , Вт						
Мощность потока N_9 , Вт						

1.3 Обработка результатов

Расход Q определяется по формуле (1.3).

Средняя скорость потока

$$v = Q / A_{mp},$$

где A_{mp} – площадь сечения трубопровода, m^2 .

Внутренний диаметр трубопровода $d = 0,8 \cdot 10^{-2}$ м (8 мм).

Кинематическая вязкость ν определяется по графику $\nu = f(T)$, который имеется в лаборатории (в качестве рабочей жидкости на стенде используется масло для гидрообъемных передач МГЕ-46 В).

Число Рейнольдса определяется по формуле (1.4).

Мощности потока в сечениях 8–8 и 9–9

$$N_8 = p_8 Q; \quad N_9 = p_9 Q.$$

При определении режима течения следует исходить из того, что если определенное в опыте число Рейнольдса меньше критического значения $Re_{кр}$, то режим течения ламинарный. Для труб круглого сечения $Re_{кр} = 2320$. При $Re > Re_{кр}$ режим течения турбулентный.

После заполнения таблицы 1.1 необходимо по формуле (1.2) определить допустимые ошибки измерения для всех типов манометров, установленных на стенде. Полученные результаты привести в отчете.

Контрольные вопросы

1 Основные величины гидравлики, аналогии между системами различной физической природы.

2 Давление: физическая сущность; абсолютное, избыточное, вакуумметрическое давление, способы, приборы и единицы измерения.

3 Расход: физическая сущность; объемный, весовой и массовый расходы, способы, приборы и единицы измерения.

4 Режимы течения жидкости и газов, необходимость и методика их определения.

5 Влияние режима течения на потери энергии на трение по длине трубопровода.

6 Определение мощности в гидравлических системах.

7 Оценка допустимой погрешности измерения давления манометром.