

## Лабораторная работа № 3

### Изучение приборов и методов измерения расхода

Цель работы: ознакомиться общими сведениями, изучить приборы для измерения расхода, изучить устройство опытной установки, измерить расход различными приборами, построить графики.

#### 3.1 Общие сведения

##### 3.1.1 Понятие расхода

**Расход** – это количество вещества, протекающее через сечение трубопровода в единицу времени. Количество измеряют в единицах объема ( $\text{м}^3$ ,  $\text{см}^3$ ) или массы (т, кг, гр.). Соответственно может измеряться объемный ( $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{см}^3/\text{с}$ ) или массовый (кг/с, кг/ч, гр./с) расход. Объемный расход обычно используется при измерении газов или жидкостей. Массовый – при измерении паров или жидкостей, смешанных с сыпучими веществами.

Если жидкость несжимаема, т.е.  $\rho = \text{const}$ , то можно записать **уравнение неразрывности** для объемного потока или уравнение постоянства расхода в любом сечении при движении по трубопроводам гидросистемы

$$Q = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = \text{const}, \text{ м}^3/\text{с} (\text{л}/\text{мин}).$$

##### 3.1.2 Методы и приборы для измерения расхода

Прибор, измеряющий расход, т.е. количество вещества, проходящее через данное сечение трубопровода в единицу времени, называют **расходомером**.

Прибор, измеряющий количество вещества, протекающее через данное сечение трубопровода за некоторый промежуток времени, называют **счетчиком количества**.

Условное графическое обозначение расходомеров на схемах гидравлических представлено на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Схематичное обозначение приборов: а) расходомер, общее обозначение; б) расходомер интегрирующий.

В гидроприводах необходимость измерения расхода жидкости возникает лишь при испытаниях гидрооборудования либо при его поломках.

Известны два метода измерения расхода: прямой и косвенный.

**Прямой метод** измерения расхода – это непосредственное измерение приборами (расходомерами).

**Косвенные методы** основаны на применении объемных, массовых способов.

Основные методы измерения расхода жидкостей и газов: объемный; метод переменного перепада давления; скоростной; индукционный (электромагнитный).

### **Объёмный метод измерения расхода.**

Измеряется объем жидкости  $V$  и время  $t$ , в течение которого этот объем проходит через поперечное сечение

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

Для измерения объема  $V$  используется мерный сосуд, объем которого известен, или (для механического счетчика) объем жидкости прошедший за один оборот стрелки.

Объем можно измерить счетчиком (расходомеры) с овальными шестернями (рисунок 3.2). Принцип действия. Счетчик состоит из двух находящихся в зацеплении шестерен, помещенных внутри корпуса, имеющего отверстия для входа и выхода жидкости. Входящая в корпус жидкость создает на шестернях момент, они вращаются, вытесняя в трубопровод через напорное отверстие жидкость. Объем жидкости, прошедший через прибор за некоторое время, связано с числом оборотов шестерен. Для суммирования числа оборотов прибор снабжен счетным механизмом.

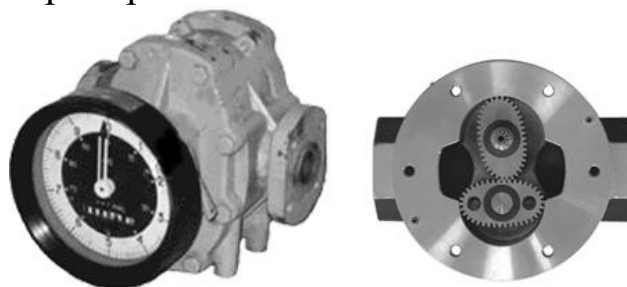


Рисунок 3.2. – Расходомер с овальными шестернями

Счетчики с овальными шестернями применяются для измерения небольших расходов жидкости (от 0,5 до 150 тыс. л/час) и являются приборами высоких классов точности (0,1 – 1,5).

### **Метод переменного перепада давления.**

Основан на сужении потока внутри трубопровода. В суженном сечении увеличиваются скорость, а следовательно, и кинематическая энергия потока, что вызывает уменьшение его потенциальной энергии. Соответственно статическое давление потока после сужающего устройства будет меньше, чем перед ним. Разность между статическими давлениями потока, взятыми на некоторых расстояниях до и после сужающего устройства, называют перепадом давления. Расходомеры переменного перепада давления состоят из трех элементов: сужающего устройства и дифференциального манометра (или двух пьезометров) для измерения перепада давления.

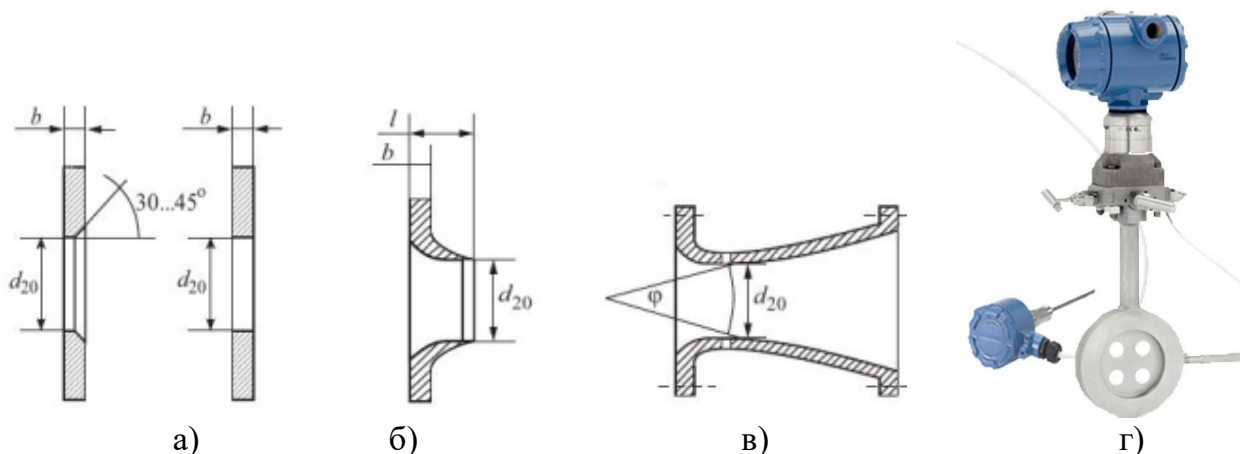


Рисунок 3.3 - Виды сужающих устройств: а) диафрагма; б) сопло; в) труба Вентури; г) расходомер переменного перепада давления

Наиболее простым и распространенным сужающим устройством является диафрагма (рис. 3.3, а) - тонкий диск с круглым отверстием в центре. Кроме диафрагмы применяют также сопло (рис. 3.3, б) и трубу Вентури (рис. 3.3, в), которые создают меньшее гидравлическое сопротивление в трубопроводе. Сопло менее чувствительно к загрязнению и коррозии по сравнению с диафрагмой. При измерении расхода газа или пара имеет большую точность. Расходомер (труба) Вентури (рисунок 3.3, в) является лучшим в гидравлическом отношении - оказывает наименьшее сопротивление потоку жидкости. Недостаток: сложность изготовления и большие размеры.

Сужающее устройство расходомера переменного перепада давлений (рис. 3.3., г) является первичным преобразователем, в котором расход преобразуется в перепад давлений. Промежуточными преобразователями для расходомеров переменного перепада давлений служат дифманометры.

К достоинствам расходомеров переменного перепада относится возможность использования их при различных температурах и давлениях измеряемой среды, а к недостаткам – потеря давления потока и относительная трудность промышленного применения расходомеров при малых расходах.

### **Скоростной метод измерения расхода**

Измерение расхода скоростным методом (рис. 3.4, а) происходит замером скорости вращения турбинки счетчика. В зависимости от скорости потока воды в трубопроводе изменяется число оборотов турбинки, что и учитывается счетным механизмом прибора.

Турбинные расходомеры являются наиболее точными приборами для измерения расхода жидкостей. Получили наибольшее распространение для измерения расхода жидкости и редко применяются для газа из-за его сжимаемости.

Приборы просты по конструкции, обладают большой чувствительностью и большими пределами измерений, возможностью измерения как малых (от  $5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{с}$ ), так и больших (до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ ) расходов

жидкостей с широким диапазоном физико-химических свойств, нечувствительность к загрязнениям.

Недостатки: необходимость индивидуальной градуировки; влияние изменения вязкости измеряемой среды на показания приборов; наличие изнашивающихся опор, что резко сокращает срок службы приборов (особенно при измерении расхода абразивных сред) и приводит к снижению их точности в процессе эксплуатации.

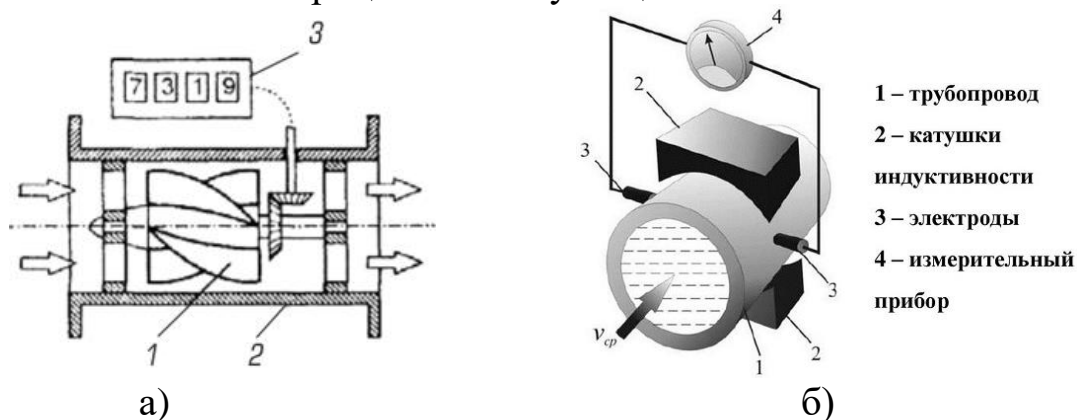


Рисунок 3.4 – Расходомеры: а) турбинный: 1 - винтовая турбинка; 2 - корпус; 3 – счетчик; б) электромагнитный

### Электромагнитный метод измерения расхода.

Принцип действия электромагнитных расходомеров основывается на законе электромагнитной индукции: в электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости (рис.3.4, б).

Достоинства:

- показания не зависят от вязкости и плотности среды;
- они не имеют частей, выступающих внутрь трубы, и, таким образом, не создают потери давления;
- минимальная требуемая длина прямых участков для установки;
- применяются на трубопроводах диаметром от 2 до 4000 мм;
- могут быть использованы при измерении расхода агрессивных, абразивных и вязких жидкостей, пульп, жидких металлов.

Недостатки:

- измеряемая среда должна быть электропроводна.
- необходимость тщательной защиты преобразователя и линий связи от внешних помех.

## 3.2 Описание опытной установки

Опытная установка подробно описана в лабораторной работе №2.

Для измерения расхода используются:

- 1) расходомер с овальными шестернями;

- 2) Расходомер Вентури (рисунок 3.6), который установлен на трубопроводе переменного сечения.

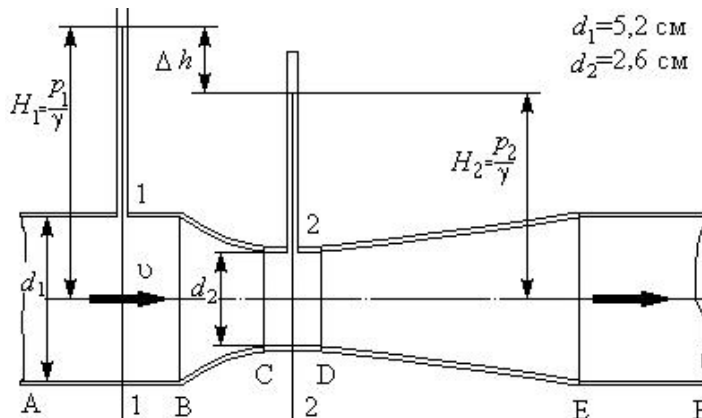


Рисунок 3.6. – Расходомер Вентури

### 3.3 Порядок проведения работы

- 1) Полностью открыть вентили 6 и 8, вентиль 7 закрыть.
- 2) Включить в работу насос 13.
- 3) Проверить отсутствие воздуха в пьезометрах.
- 4) Вентилем 8 в трубопроводе установить несколько (5-6) различных расходов воды, измеряя расход с помощью счетчика и секундомера. Для каждого расхода воды снимают показания пьезометров № 2 и 3.
- 5) Результаты измерений заносят в таблицу 3.1.
- 6) Отключить насос и перекрыть все вентили.

### 3.4 Обработка опытных данных

Определить разность показаний пьезометров по формуле

$$\Delta h = h_3 - h_2 = \text{_____}, \text{ см}^2.$$

Определить теоретический расход по разности пьезометрических напоров в сечениях 2 и 3 по формуле

$$Q_T = A \cdot \sqrt{\Delta h} = \text{_____}, \text{ см}^3/\text{с},$$

где  $A = 242,76 \frac{\text{см}^2}{\text{с}} \cdot \sqrt{\text{см}}$  - константа расходомера.

Теоретический расход определяется расчётом и не учитывает потери при движении. Действительный расход будет меньше теоретического и измеряется объемным методом с помощью счетчика (расходомера) с овальными шестернями. Отношение действительного расхода  $Q$  к теоретическому расходу  $Q_T$  характеризует **коэффициент расхода трубы Вентури**

$$\mu = \frac{Q}{Q_T} = \text{_____}.$$

Таблица 3.1 - Результаты измерений и расчетов

| №<br>оп. | Показания пьезо-<br>метра в сечениях |       | Разность по-<br>казаний пье-<br>зометров $\Delta h$ | Теоретиче-<br>ский расход<br>воды $Q_T$ | Действитель-<br>ный расход<br>воды $Q$ | Коэффициент<br>расхода трубы<br>Вентури $\mu$ |
|----------|--------------------------------------|-------|---|---|--|---|
|          | $h_2$                                | $h_3$ |   |   |  |   |
|          | см                                   | см    | см  | л/с                                     | л/с                                    |   |
| 1        |                                      |       |   |   |  |   |
| 2        |                                      |       |   |   |  |   |
| 3        |                                      |       |   |   |  |   |
| 4        |                                      |       |   |   |  |   |
| 5        |                                      |       |   |   |  |   |
| 6        |                                      |       |   |   |  |   |

По опытным данным построить график зависимости действительного  $Q = f(\Delta h)$  и теоретического  $Q_T = f(\Delta h)$  расходов от разности показаний пьезометров.

### 3.5 Контрольные вопросы

- 1) Что такое расход жидкости?
- 2) Формула уравнения неразрывности для несжимаемой жидкости.
- 3) Какие существуют методы измерения расхода?
- 4) В чем заключается объемный метод измерения расхода?
- 5) Какие достоинства и недостатки имеет объемный метод измерения расхода?
- 6) Какими приборами или устройствами можно измерять объем?
- 7) В чем заключается принцип действия расходомеров с овальными шестернями?
- 8) В чем заключается метод измерения расхода с помощью дросселирующих расходомеров?
- 9) Достоинства и недостатки расходомера Вентури.
- 10) По какой формуле определяется зависимость между расходом жидкости в трубопроводе и перепадом давления в трубе Вентури?
- 11) По какой формуле определяется коэффициент расхода?
- 12) Условные обозначения приборов для измерения расхода.