

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАСПИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИИ  
И ИНЖИНИРИНГА ИМ. Ш.ЕСЕНОВА**

**ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА  
КАФЕДРА «ЭНЕРГЕТИКА»**

**САВЕЛЬЕВ В.Н. , ХАЙРУШЕВА А.А.**

## **Методические указания**

по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Механика жидкости и газа» для студентов  
специальности 050717-«Теплоэнергетика»

Ақтау-2010

УДК 62-82(075)

Составители: Савельев В.Н., Хайрушева А.А. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Механика жидкости и газа» для студентов специальности 050717-«Теплоэнергетика». Могут быть использованы по дисциплинам: «Общая гидравлика», «Гидромеханика», для студентов специальностей: 050708-«Нефтегазовое дело», 050724-«Технологические машины и оборудование», 050608-«Экология», 050715-«Морская техника и технологии» – Актау, КГУТиИ им. Ш.Есенова, 2010, стр.27

Рецензент: к.т.н. Султанов Т.Т.

Методические указания содержат основные положения по выполнению, оформлению и защите лабораторных работ. Каждая лабораторная работа состоит из следующих подразделов: цель работы, теоретические пояснения, задание, порядок выполнения работы, контрольные вопросы, требования к отчету, перечень рекомендуемой литературы.

Рекомендовано к изданию решением УМС КГУТиИ им.Ш.Есенова

© КГУТиИ им. Ш.Есенова, 2010 г.

## Введение

Настоящие методические указания предназначены для студентов, изучающих курс «Общей гидравлики», «Гидромеханики» и «Механики жидкости и газов», учебным планом которых предусмотрено выполнение лабораторных работ, и включают в себя разделы: кинематика и динамика жидкости, гидродинамическое подобие и режимы течения жидкости, местные гидравлические сопротивления, истечение жидкости через отверстия и насадки.

Основной задачей лабораторных работ по гидравлическим дисциплинам является изучение методов экспериментального определения параметров движения капельных жидкостей: давления и расхода жидкостей, режима течения жидкости, напорной и пьезометрической линий трубопровода, коэффициента местного гидравлического сопротивления гидродросселя, коэффициента гидравлического трения и установление нестационарных процессов истечения жидкости.

При выполнении лабораторных работ студент углубляет теоретические навыки по гидравлике, знакомится с методикой опытного исследования процессов, приобретает навыки в проведении эксперимента.

Цель лабораторных работ по основам гидравлики – ознакомление с основными характеристиками и методами анализа уравнений равновесия и движения идеальной жидкости, изучение гидродинамического подобия и режимов течения жидкостей в трубах.

До проведения опыта студент должен изучить основы безопасности труда в лаборатории, общие положения, относящиеся к каждой из выполняемых лабораторных работ, детально ознакомиться с установкой и методикой проведения работы.

По каждой лабораторной работе студентом составляется отчет, в котором приводятся:

- наименование и цель работы;
- теоретическая часть;
- задание;
- структурная схема исследований;
- схемы и графики;
- расчеты;
- краткие выводы о работе.

В основу описания лабораторных работ положены действующие стандарты.

## **Лабораторный практикум**

### **Краткое описание стенда «Гидравлика»**

Лабораторный стенд «Гидравлика» предназначен для использования в качестве учебного оборудования в высших учебных заведениях при проведении лабораторно-практических занятий со студентами.

Принципиальная гидравлическая схема стенда приведена на рисунке 1 .

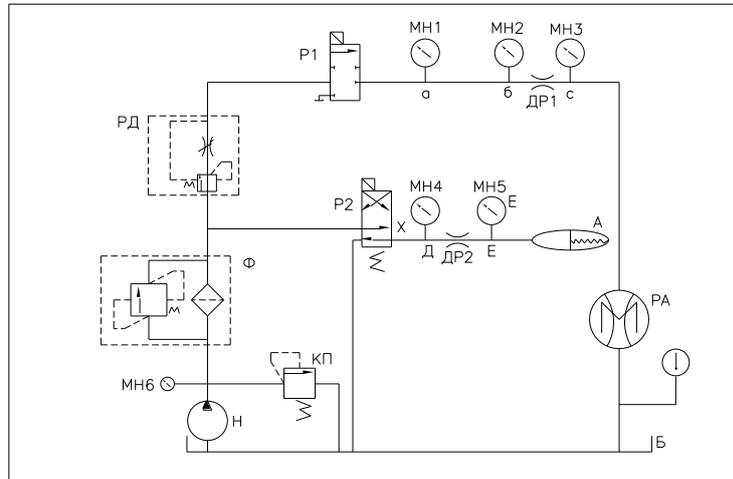


Рис.1. «Гидравлическая схема стенда»

В состав стенда входят гидробак Б, шестеренчатый насос Н, фильтр Ф, предохранительный клапан КП, регулятор расхода РР, два гидрораспределителя Р1 и Р2, пружинный аккумулятор А, два гидродросселя ДР1 и ДР2, трубопроводы (в том числе исследуемые участки трубопроводов авс и участок с установленным дросселем ДР2). Привод насоса осуществляется от электродвигателя.

Информационно-измерительная система стенда включает 6 манометров (МН1-МН6, манометр МН5 – электроконтактный с двумя управляемыми контактами), расходомер скоростного типа РА, термометр Т и электронный секундомер.

Управление гидрораспределителями осуществляется тумблерами Р1 и Р2.

Работа электронного секундомера предусматривает два режима – ручной и автоматический (указанные режимы работы устанавливаются тумблером на верхней панели).

При установке тумблера в положение «РУЧН» секундомер используется для определения времени прохождения через расходомер РА заданного объема жидкости (с тем, чтобы в дальнейшем определять расход жидкости в трубопроводе).

Питание секундомера включается тумблером «ВКЛ», начало отсчета времени тумблером «Счет», сброс показаний электронного табло – кнопкой «Сброс». При нажатии кнопки «Сброс» секундомер не должен производить отсчет времени, то есть тумблер «Счет» необходимо переключить в нижнее положение.

При установке тумблера режима в положение «АВТ» секундомер используется для подсчета времени пружинного аккумулятора А (при этом должно быть включено питание секундомера и счет, то есть тумблеры постоянно установлены в положение «Вкл» и «Счет»). Включением и выключением секундомера управляет электроконтактный манометр МН5. После завершения процесса заполнения или опорожнения рабочей полости аккумулятора А фиксируется время процесса, а затем, нажав кнопку «Сброс», можно сбросить показания табло.

Номинальное давление в системе 1 МПа (допускается до 1,1 МПа). Давление устанавливается с помощью регулировочного винта, установленного на предохранительном клапане. Винт должен быть надежно зафиксирован с помощью контргайки.

**Внимание!** При попытке установки на стенде более высокого уровня давления манометры могут выйти из строя.

Напряжение питания стенда 380 В, ток переменный частотой 50 Гц. Напряжение питания электромагнитов гидрораспределителей - 24 В (ток постоянный).

Рекомендуемые рабочие жидкости: минеральные масла МГЕ – 46 В, МГ – 30 У, М – 8 В. В работе используется минеральное веретенное масло М-8В, плотность которого при 20°C  $\rho=885 \text{ кг/м}^3$ , а кинематическая вязкость  $\nu=8,5 \text{ сСт}$ .

Заправочная емкость гидробака – 70 дм<sup>3</sup> (литров).

## Лабораторная работа №1

### Измерение давления и расхода, определение режима течения жидкости

#### 1. Цель работы:

1. Изучение основных величин гидравлики и аналогий между системами различной физической природы.
2. Изучение приборов и единиц измерения давления и расхода.
3. Экспериментальное определение режима течения жидкости.

#### 2. Теоретические пояснения.

Жидкость в гидравлике рассматривают как непрерывную среду, заполняющую пространство без пустот и промежутков. Вследствие текучести в жидкости действуют силы не сосредоточенные, а непрерывно распределенные по её объему (массе) или поверхности. Силы, действующие на объемы жидкости, разделяют на массовые (объемные) и поверхностные. Как массовые, так и поверхностные силы в гидромеханике рассматривают в виде единичных сил, т.е. сил, отнесенных к соответствующим единицам. Массовые силы относят к единице массы, а поверхностные – к единице площади.

Нормальное напряжение, т.е. напряжение силы давления, называется гидромеханическим (в случае покоя-гидростатическим) давлением, или просто давлением и обозначается буквой  $P$ . Если давление  $P$  отсчитывается от абсолютного нуля, то его называют абсолютным, а если от атмосферного давления  $P_a$ , то его называют избыточным ( $P_{изб}$ ) или манометрическим.

За единицу давления в Международной системе единиц (СИ) принят Паскаль – давление, вызываемое силой в 1 Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью  $1\text{ м}^2$ . Применяют также укрупненные единицы: килопаскаль (кПа) и мегапаскаль (МПа):

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

В системе единиц МКГСС (метр, килограмм-сила, секунда) за единицу давления принимается  $1\text{ кгс/ м}^2$ . Используют также внесистемные единицы-техническую атмосферу и бар.

$$1\text{ ат} = 1\text{ кгс/ см}^2 = 10\,000\text{ кгс/ м}^2;$$

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

Соотношение между единицами давления в системах СИ и МКГСС следующее:

$$1\text{ Па} = 0,102\text{ кгс/ м}^2\text{ или } 1\text{ кгс/ м}^2 = 9,81\text{ Па.}$$

Плотность  $\rho$  ( $\text{кг/ м}^3$ ) – масса жидкости, заключенная в единице объема; для однородной жидкости

$$\rho = m/V, \text{ где}$$

$m$ - масса жидкости в объеме  $V$ .

Удельным весом  $\gamma$  ( $\text{Н/ м}^3$ ) называют вес единицы объема жидкости, т.е.

$$\gamma = G/V, \text{ где } G\text{- вес жидкости в объеме } V.$$

Связь между удельным весом  $\gamma$  и плотностью  $\rho$ , учитывая, что  $G = gm$   
 $\rho = G/(gV) = \gamma/g$ .

К основным физическим свойствам капельных жидкостей относятся:

**1. Сжимаемость** – свойство жидкости изменять свой объем под действием давления, характеризуется коэффициентом  $\beta_p$  (м<sup>2</sup>/Н) объемного сжатия, который представляет собой относительное изменение объема, приходящееся на единицу давления, т.е.  $\beta_p = (dV/dp)$

Знак минус в формуле обусловлен тем, что положительному приращению давления  $P$  соответствует отрицательное приращение объема  $V$ .

**2. Температурное расширение** характеризуется коэффициентом  $\beta_T$  объемного расширения, т.е. относительного изменения объема при изменении температуры  $T$  на 1°С и постоянном давлении:

$$\beta_T = (1/V_1)(\partial V / \partial T)$$

**3. Вязкость** – свойство жидкости сопротивляться сдвигу её слоев. Вязкость есть свойство, противоположное текучести: более вязкие жидкости (глицерин, смазочные масла и др.) являются менее текучими, и наоборот.

В системе СГС за единицу динамической вязкости  $\mu$  принимают пуаз:

$$1 \text{ П} = 1 \text{ дин} \cdot \text{с}/\text{см}^2$$

Так как  $1 \text{ дин} = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ кгс}$ , а  $1 \text{ м}^2 = 10^4 \text{ см}^2$ , то  $1 \text{ П} = 10 \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,0102 \text{ кгс} \cdot \text{с}/\text{м}^2$

Наряду с динамической вязкостью  $\mu$  применяют кинематическую  $\nu = \mu / \rho$ .

Единицей измерения кинематической вязкости является стокс:

$$1 \text{ Ст} = 1 \text{ см}^2/\text{с}.$$

Давление измеряют жидкостными и пружинными манометрами, а также пьезометрами.

Пьезометром измеряют давление жидкости высотой столба той же жидкости. Он представляет собой открытую сверху трубку, присоединенным нижним концом к месту измерения давления (рис. 2)

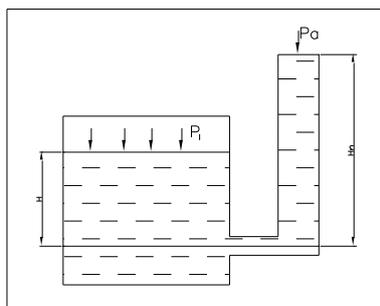


Рис. 2. Схема измерения давления пьезометром.

Жидкость в пьезометре поднимается (если давление в месте измерения больше атмосферного) на высоту  $H_n$ , называемую пьезометрической высотой. Пьезометрическая высота, равная  $p/(\rho g)$ , представляет собой высоту столба данной жидкости, соответствующую данному давлению  $p$  (абсолютному или избыточному). Для жидкости, заключенной в пьезометре

$$p_{abc} = p_a + \rho g h_n.$$

Высоту подъема жидкости в пьезометре определяют по формуле:

$$h_n = (p_{abc} - p_a) / (\rho g) = p_{изб} / (\rho g), \text{ где}$$

$p_{изб}$  - избыточное давление на уровне присоединения пьезометра.

Пружинными манометрами измеряют значительные давления жидкостей и газов. С помощью манометра измеряют не абсолютное давление в сосуде, а избыточное давление в нем. Абсолютное давление в сосуде

$$p_{абс} = p_{ман} + p_a, \text{ где}$$

$p_{ман}$  - давление, которое показывает манометр.

**Расходом** - называют количество жидкости, протекающее через живое сечение потока (струи) в единицу времени. Это количество можно измерить в единицах объема, в весовых единицах или в единицах массы. Различают объемный  $Q$ , весовой  $Q_G$  и массовый  $Q_m$  расходы.

Расход жидкости в трубопроводах определяют расходомерами. Простейший из них расходомер Вентури (рис.3), который представляет собой устройство, устанавливаемое в трубопроводах и осуществляющее сужение потока – дросселирование. Скорость потока в суженном месте возрастает, а давление падает. Возникает разность (перепад) давлений, которая измеряется двумя пьезометрами и определенным образом связана с расходом

$$Q = C \sqrt{\Delta H}, \text{ где}$$

$C$  – величина постоянная для данного расходомера.

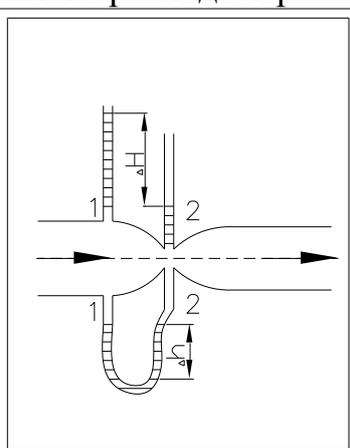


Рис. 3. Расходомер Вентури.

**Режимы течения жидкости в трубах.** Возможны два вида течения: ламинарный и турбулентный.

**Ламинарным** называется слоистое течение без перемешивания частиц жидкости и без пульсаций скоростей и давлений. При таком течении все линии тока вполне определяются формой русла, по которому течет жидкость. Ламинарное течение является вполне упорядоченным и при постоянном напоре строго установившимся течением.

**Турбулентным** - называется течение, сопровождающееся интенсивным перемешиванием жидкости и пульсациями скоростей и давлений. Движение отдельных частиц оказывается подобным хаотическому, беспорядочному движению молекул газа. При турбулентном течении векторы скоростей имеют не только осевые, но и нормальные к оси русла составляющие, поэтому наряду с основным продольным перемещением жидкости вдоль русла происходят перемещения поперечные (перемешивание) и вращательное движение отдельных объемов жидкости.

Режим течения жидкости изменяется при определенной средней по сечению скорости течения  $g_{кр}$ , которую называют критической. Значение этой скорости

прямо пропорционально кинематической вязкости  $\nu$  и обратно пропорционально диаметру  $d$  трубы, т.е.  $g_{кр} = k\nu/d$ . Коэффициент пропорциональности  $k$  одинаков для жидкостей и газов, а также для любых диаметров труб. Изменение режима течения происходит при определенном соотношении между скоростью, диаметром и вязкостью  $\nu$ :

$$k = g_{кр} d / \nu$$

Полученное безразмерное число называется критическим числом Рейнольдса и обозначается

$$Re_{кр} = g_{кр} d / \nu$$

Для труб круглого сечения  $Re_{кр} \approx 2300$ .

При  $Re < Re_{кр}$  течение ламинарное, при  $Re > Re_{кр}$  - турбулентное, при  $Re=2300-4000$  имеет место переходная, критическая область.

### 3. Задание:

1. Произвести замеры прохождения заданного объема рабочей жидкости через трубопровод абс.
2. Опыты провести при различных расходах.
3. Снять показания температуры рабочей жидкости.
4. Данные опытов занести в таблицу.
5. Определить режим течения жидкости.

Варианты	1			2			3			4			5			6			7			8			9					
Q, поворот (регулятор расхода)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3							7	8	9
$\tau$ , мин	3			3			3			4			4			4			5			5			5					

### 4. Порядок выполнения работы.

Для проведения эксперимента необходимо:

- включить питание стенда;
- включить электродвигатель (кнопка «ПУСК»);
- включить гидрораспределитель (тумблер Р1 в положение «Вкл»);
- дать возможность поработать стенду в течение 5-6 мин.
- произвести замеры прохождения заданного объема рабочей жидкости через трубопровод абс. Время измерять с помощью электронного секундомера, а объем проходимой жидкости измерять с помощью расходомера РР (один поворот красной стрелки на расходомере соответствует прохождению через устройство одного литра жидкости).

Опыты провести при различных расходах (расход изменяется с помощью регулятора расхода РР)

В каждом опыте необходимо фиксировать температуру рабочей жидкости.

Данные опытов занести в таблицу.

После проведения всех опытов питание секундомера отключить, выключить электродвигатель и отключить питание стенда.

## Показания экспериментов

№ п/п	Объем задан- й жид- ти $V, л$	Время прохождения заданного объема жидкости $\tau, сек$	Давление $P, МПа$			Темпера- тура жид-ти $t^{\circ}C$	Скорость движения жид-ти $v, м/сек$	Re	Режим движения
			$P_a$	$P_v$	$P_c$				
1									
2									

Режим движения жидкости в общем случае зависит от скорости движения, размеров, плотности и вязкости жидкости. Режим движения жидкости характеризуется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho \vartheta R}{\mu}, \text{ где}$$

$R$  – гидравлический радиус потока (для труб круглого сечения  $R=d/4$ ).

$\mu$  - динамическая вязкость;  $\rho$ - плотность жидкости,  $кг/м^3$ ;  $U$  - скорость движения жидкости,  $м/с$ .

$$U = Q/St, \text{ где}$$

$Q$ - объем жидкости,  $л$ ;  $S$ - площадь сечения трубки,  $м$ .

$$S = \pi r^2, \text{ где}$$

$r$ -радиус сечения трубопровода,  $мм$ .

$$v = 8,5 Cст$$

Число Рейнольдса величина безразмерная. Для круглых цилиндрических труб с внутренним диаметром  $d$ :

$$Re_d = \frac{vd}{\nu} \text{ и } Re = 4 Re_{d_d}$$

По данным замеров в каждом опыте определить скорость движения заданного объема жидкости  $\vartheta$   $м/сек$  и занести в таблицу.

Зная кинематическую вязкость масла, диаметр трубы и найденную скорость движения жидкости на участке трубопровода авс определить число Рейнольдса и режим движения жидкости. Результаты занести в таблицу.

$$1 \text{ литр} = 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$$

### 5. Контрольные вопросы:

1. Что такое нормальное напряжение?
2. Перечислить основные физические свойства капельных жидкостей.
3. Схема измерения давления пьезометром.
4. Расходомер Вентури.
5. Режимы течения жидкости в трубах.

### 6. Требования к отчету.

Отчет должен содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Теоретическую часть.

3. Задание.
4. Структурную схему исследований.
5. Схемы и графики.
6. Расчеты.
7. Краткие выводы о работе.

#### Литература:

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы. М, Машиностроение, 1970 г.
2. В.Е. Егорушкин., Б.И. Цеплович Основы гидравлики и теплотехники. М. Машиностроение 1981 г.
3. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередат. Под ред. С.С. Руднева и Л.Г. Подвиза.- М..1974 г.

### Лабораторная работа №2

#### Построение напорной и пьезометрической линий трубопровода.

##### 1. Цель работы:

1. Изучение уравнения Бернулли.
2. Уяснение физической сущности полного напора и составляющих его скоростного (динамического), пьезометрического, геометрического напора.
3. Экспериментальное определение напорной и пьезометрической линий трубопровода.

##### 2. Теоретические пояснения.

При рассмотрении установившегося течения идеальной жидкости, находящейся под действием лишь одной массовой силы – силы тяжести выведено для этого случая основное уравнение (Бернулли), связывающее между собой давление в жидкости и скорость её движения. Схема для вывода уравнения Бернулли представлена на рисунке 4.

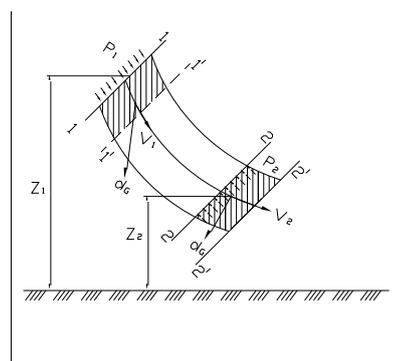


Рис. 4. К выводу уравнения Бернулли

На элементарной струйке потока выделены сечения 1 и 2 участков этой струйки произвольной длины с сечениями площадью  $dS_1$ , скоростью  $\vartheta_1$ , давлением  $P_1$  и высотой центра тяжести сечения, отсчитанной от произвольной горизонтальной плоскости сравнения,  $Z_1$ . Во втором сечении соответственно  $dS_2$ ,  $\vartheta_2$ ,  $P_2$  и  $Z_2$ . За бесконечно малый отрезок времени  $dt$  выделенный участок струйки, переместится в положение 1'-2'. Работа силы давления в сечении 1-1 положительна и выражается

как произведение силы  $P_1 dS_1$  на путь  $g_1 dt$ :  $P_1 dS_1 g_1 dt$ . Работа силы давления во втором сечении имеет знак минус -  $P_2 dS_2 g_2 dt$ . Работа сил давления равна  $P_1 dS_1 g_1 dt - P_2 dS_2 g_2 dt$ .

Работа сил тяжести выражается как произведение разности высот на силу тяжести  $dG$ :  $(Z_1 - Z_2) dG$ .

Приращение кинетической энергии равно

$$(g_2^2 - g_1^2) dG / 2g.$$

Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости имеет вид:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{g_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{g_2^2}{2g}, \text{ где}$$

$Z$  – геометрическая высота или геометрический напор;

$P/(\rho g)$  – пьезометрическая высота (пьезометрический напор);

$g^2/(2g)$  – скоростная высота (скоростной напор).

Трехчлен вида  $Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{g^2}{2g} = H$  – полный напор.

Так как сечения взяты произвольно, то и для любого другого сечения этой же струйки полный напор будет иметь то же значение, т.е.

$$Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{g^2}{2g} = H = \text{Const (вдоль струйки)}$$

Уравнение Бернулли имеет и другой вид:

$$gZ_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{g^2}{2} = gZ_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{g_2^2}{2}, \text{ где}$$

$gZ$  – удельная энергия положения;

$P/\rho$  – удельная энергия давления движущейся жидкости;

$g^2/2$  – удельная кинетическая энергия.

Полная удельная механическая энергия движущейся жидкости:

$$Hg = Zg + P/\rho + g^2/2.$$

Уравнение Бернулли выражает закон сохранения механической энергии в идеальной жидкости. В процессе движения идеальной жидкости одна форма энергии может превращаться в другую, однако полная удельная энергия при этом остается без изменения.

### 3. Задание.

1. Произвести измерения давлений.
2. Измерить объем проходимой жидкости.
3. Произвести замеры времени прохождения заданного объема жидкости.
4. Снять показания температуры рабочей жидкости.
5. Данные опытов занести в таблицу.
6. Определить напорную и пьезометрическую линии трубопровода.

Варианты	1			2			3			4			5			6			7			8			9					
Q, поворот (регулятор расхода)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3							7	8	9
$\tau$ , мин	3			3			3			4			4			4			5			5			5					

#### 4. Порядок выполнения работы.

Объектом исследования является горизонтально расположенный участок трубопровода абс. К трем сечениям трубопровода подключены манометры МН1, МН2 и МН3. внутренний диаметр трубопровода 8мм.

Для проведения экспериментов необходимо:

- включить питание стенда;
- включить, нажав кнопку «Пуск», электродвигатель;
- тумблер гидрораспределителя Р1 переключить в положение «Вкл»;
- дать возможность установке поработать в течение 5-6 минут;
- для двух значений расхода (настроек регулятора РР) произвести измерения давлений (по манометрам МН1-МН3);
- объем проходимой жидкости измерить с помощью расходомера РР (один поворот красной стрелки на расходомере соответствует прохождению через устройство одного литра жидкости);
- произвести замеры времени прохождения заданного объема жидкости с помощью электронного секундомера;
- в каждом опыте фиксировать температуру рабочей жидкости.

После проведения всех опытов питание секундомера отключить, выключить электродвигатель и отключить питание стенда.

Данные опытов занести в таблицу.

Показания экспериментов

№ п/п	Объем заданной жидкости  V, л	Время прохож- дения задан. объема жидкости  $\tau$ , сек	Расход жидкости  Q, м <sup>3</sup> /с	Давление на			Темпера- тура жид- ти  t°С	Re	Скор. дв- я жид- ти v, м/с	Режим дв-я
				участках, Р, МПа	$P_a$	$P_b$				
1										
2										

Режим движения жидкости в общем случае зависит от скорости движения, размеров, плотности и вязкости жидкости. Режим движения жидкости характеризуется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho g R}{\mu}, \text{ где}$$

R – гидравлический радиус потока (для труб круглого сечения  $R=d/4$ ).

$\mu$  - динамическая вязкость;  $\rho$ - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $U$ - скорость движения жидкости, м/с.

$$U = Q/St, \text{ где}$$

Q- объем жидкости, л; S- площадь сечения трубки, м.

$$S = \pi r^2, \text{ где}$$

r-радиус сечения трубопровода, мм..

$$v = 8,5 \text{ cSt}$$

Число Рейнольдса величина безразмерная. Для круглых цилиндрических труб с внутренним диаметром d:

$$\text{Re}_d = \frac{vd}{\nu} \text{ и } \text{Re} = 4 \text{Re}_{d_d}$$

По данным замеров в каждом опыте определить скорость движения заданного объема жидкости  $q$  м/сек и занести в таблицу.

Зная кинематическую вязкость масла, диаметр трубы и найденную скорость движения жидкости на участке трубопровода авс определить число Рейнольдса и режим движения жидкости. Результаты занести в таблицу.

$$1 \text{ литр} = 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$$

Расход – количество жидкости, протекающее через живое сечение потока в единицу времени. Различают объемный, весовой и массовый расходы.

Основным уравнением гидравлики, определяющим связь между давлением и скоростью в движущемся потоке жидкости является уравнение Бернулли. Для двух произвольных поперечных сечений потока идеальной жидкости уравнение Бернулли имеет вид:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{g_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{g_2^2}{2g}, \text{ где}$$

$Z$  – геометрический напор, высота положения частицы над плоскостью отсчета, м;

$P/(\rho g)$  – пьезометрический напор, м;

$g^2/(2g)$  – скоростной напор, представляющий собой удельную кинетическую энергию 1 кг жидкости, м.

Для потока реальной жидкости необходимо учитывать различие в скоростях по сечению потока, учитываемое поправочным коэффициентом  $\alpha$  для слагаемого скоростного напора в уравнении Бернулли.

Для ламинарного режима движения жидкости в круглых трубах  $\alpha=2$ , а для турбулентного  $\alpha=1,04 \div 1,13$ .

Построить напорную пьезометрическую линию трубопровода авс, с учетом потерь.

Принять линейное сопротивление по формуле Дарси:  $h_n = \lambda_{mp} \ell / d \frac{g^2}{2} \rho$ , учитывая,

что  $\lambda_{mp} = \frac{64}{\text{Re}}$

## 5. Контрольные вопросы:

1. Схема для вывода уравнения Бернулли.
2. Какой закон выражает уравнение Бернулли?
3. Что такое объемный весовой и массовый расходы?
4. Укажите формулу Дарси.

## 6. Требования к отчету.

Отчет должен содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Теоретическую часть.
3. Задание.
4. Структурную схему исследований.
5. Схемы и графики.
6. Расчеты.

## 7. Краткие выводы о работе.

### Литература:

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы. М, Машиностроение, 1970 г.
2. В.Е. Егорушкин., Б.И. Цеплович Основы гидравлики и теплотехники. М. Машиностроение 1981 г.
3. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач. Под ред. С.С. Руднева и Л.Г. Подвиза.- М..1974 г.

### Лабораторная работа №3

#### Определение коэффициентов местных гидравлических сопротивлений.

##### 1. Цель работы

1. Изучение видов и причин потерь энергии в местных гидравлических сопротивлениях;
2. Изучение методики экспериментального определения коэффициентов местных гидравлических сопротивлений;
3. Экспериментальное определение местного гидравлического сопротивления гидродресселя (ДР1).

##### 2. Теоретические пояснения.

Потери удельной энергии (напора) или гидравлические потери, зависят от формы, размеров русла, скорости течения и вязкости жидкости, а также и от абсолютного давления в ней.

Гидравлические потери во многих случаях приблизительно пропорциональны скорости течения жидкости во второй степени:

$$h_n = \zeta g_{cp}^2 / 2g - \text{в линейных единицах}; \quad (1)$$

$$p_n = \rho g h_{cp}^2 / 2 = \zeta \rho g_{cp}^2 / 2 - \text{в единицах давления}; \quad (2)$$

где  $\zeta$  - коэффициент потерь (безразмерный) или коэффициент сопротивления.

Местные потери энергии обусловлены местными гидравлическими сопротивлениями, т.е. местными изменениями формы и размера русла, вызывающими деформацию потока.

Местные потери напора определяют по формулам (1) и (2).

Выражение (1) называют формулой Вейсбаха. В ней  $g$  - средняя по сечению скорость в трубе, в которой установлено данное местное сопротивление.

Каждое местное сопротивление характеризуется своим значением коэффициента сопротивления  $\zeta$ , которое во многих случаях приближенно можно считать постоянным для данной формы местного сопротивления.

Потерю напора на трение по общей формуле (1) удобнее связать с относительной длиной трубы  $\ell/d$ . Тогда для всей трубы длиной  $\ell$  и диаметром  $d$  коэффициент потерь выражают в виде:

$$\zeta_{mp} = \lambda \ell / d,$$

и формула (1) в этом случае имеет вид:

$$h_{mp} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{g^2}{2g}, \text{ или в единицах давления (3) } P_{mp} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{g^2}{2} \cdot \rho$$

Формулу (3) называют формулой Вейсбаха-Дарси, а безразмерный коэффициент  $\lambda$  - коэффициентом потерь на трение по длине, или коэффициентом Дарси. Физический смысл коэффициента  $\lambda$  заключается в том, что при условии равномерного движения в трубе цилиндрического объема длиной  $\ell$  и диаметром  $d$ , т.е. равенство нулю суммы сил, действующих на объем: сил давления и силы трения. Это равенство имеет вид  $\pi d^2 p_{mp} / 4 - \pi d \ell \tau_0 = 0$ , где

$\tau_0$  - напряжение трения на стенке трубы.

С учетом формулы (3):

$$\lambda = \frac{4\tau_0}{\rho g^2 / 2}, \text{ т.е. коэффициент } \lambda \text{ есть величина, пропорциональная отношению}$$

напряжения трения на стенке трубы к динамическому давлению, определенному по средней скорости.

### 3. Задание.

1. Произвести измерения давлений.
2. Произвести замеры времени прохождения через расходомер заданного объема рабочей жидкости.
3. Снять показания температуры рабочей жидкости.
4. Данные опытов занести в таблицу.
5. Определить местное гидравлическое сопротивление гидродросселя (ДР1).

Варианты	1			2			3			4			5			6			7			8			9					
Q, поворот (регулятор расхода)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3							7	8	9
$\tau$ , мин	3			3			3			4			4			4			5			5			5					

### 4. Порядок выполнения работы.

Объектом исследований на стенде является гидродроссель ДР1, установленный на участке трубопровода бс.

Для проведения экспериментов необходимо:

- включить питание стенда;
- включить тумблер Р1 в положение «Вкл».

Провести при различных расходах 4-5 опытов. В каждом опыте измерять по манометрам МН1, МН2 и МН3 давления, время прохождения через расходомер заданного объема рабочей жидкости и температуру жидкости.

После выполнения всех опытов отключить питание электронного секундомера, электродвигателя и стенда.

Данные занести в таблицу.

### Показания экспериментов

№ п/ п	Показания манометров на участке авс P, (МПа)			Заданный объем жидкости  V, л	Время прохождения задан. объема ж. через расходомер $\tau$ , сек	Средняя скорость жидкости  $g_{cp}$ , м/сек	Температура жидкости  t, °C	Re	Реж. дв-я
	$P_a$	$P_b$	$P_c$						
1									
2									

Режим движения жидкости в общем случае зависит от скорости движения, размеров, плотности и вязкости жидкости. Режим движения жидкости характеризуется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho UR}{\mu}, \text{ где}$$

R – гидравлический радиус потока (для труб круглого сечения  $R=d/4$ ).

$\mu$  - динамическая вязкость;  $\rho$ - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>; U - скорость движения жидкости, м/с.

$$U = Q/St, \text{ где}$$

Q- объем жидкости, л; S- площадь сечения трубки, м.

$$S = \pi r^2, \text{ где}$$

r-радиус сечения трубопровода, мм..

$$V = 8,5 \text{ сСт}$$

Число Рейнольдса величина безразмерная. Для круглых цилиндрических труб с внутренним диаметром d:

$$Re_d = \frac{vd}{\nu} \text{ и } Re = 4 Re_{d_d}$$

По данным замеров в каждом опыте определить скорость движения заданного объема жидкости g м/сек и занести в таблицу.

$$1 \text{ литр} = 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$$

Гидравлические потери энергии делятся на местные потери и потери на трение по длине.

Рассмотрим установившееся ламинарное течение жидкости в прямой круглой цилиндрической трубе с внутренним диаметром  $d=2r_0$ . Чтобы исключить влияние силы тяжести и этим упростить выводы, труба расположена горизонтально. Считаем, что на участке вс поток жидкости стабилизировался. Уравнение Бернулли для сечений в и с имеет вид:

$$P_b / (\rho g) = P_c / (\rho g) + h_{mp}, \text{ где}$$

$h_{mp}$  - потеря напора на трение по длине. Отсюда

$$P_{mp} = P_b - P_c / (\rho g) = P_{mp} / (\rho g)$$

Закон сопротивления  $h_{mp} = P_{mp}/(\rho g) = 1,28 \nu \ell Q / (\pi g d^4)$  показывает, что при ламинарном течении в трубе круглого сечения потеря напора на трение пропорциональна расходу и вязкости в первой степени и обратно пропорциональна диаметру в 4-й степени (3-н Пуазейля).

Потери напора на трение через среднюю скорость с учетом закона сопротивления имеет вид (ф-ла Вейсбаха-Дарси):

$$h_{mp} = \lambda_l \frac{\ell}{d} \cdot \frac{g_{cp}^2}{2g}, \text{ где}$$

$\lambda_l$  - коэффициент потерь на трение для ламинарного течения.

$$\lambda_l = 64/Re$$

Занести показания измерений в таблицу. Рассчитать коэффициент местного гидравлического сопротивления гидродросселя ДР1.

### 5. Контрольные вопросы:

1. От чего зависят потери удельной энергии (напора) или гидравлические потери?
2. Виды гидравлических потерь.
3. Укажите формулу Вейсбаха-Дарси.
4. Закон сопротивления.
5. Определение коэффициента потерь на трение ламинарного течения.

### 6. Требования к отчету.

Отчет должен содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Теоретическую часть.
3. Задание.
4. Структурную схему исследований.
5. Схемы и графики.
6. Расчеты.
7. Краткие выводы о работе.

### Литература:

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы. М, Машиностроение, 1970 г.
2. В.Е. Егорушкин., Б.И. Цеплович Основы гидравлики и теплотехники. М. Машиностроение 1981 г.
3. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидродросселей. Под ред. С.С. Руднева и Л.Г. Подвиза.- М..1974 г.

### Лабораторная работа №4

#### Определение коэффициента гидравлического трения (коэффициент Дарси)

#### 1. Цель работы:

1. Изучение способов определения коэффициента гидравлического трения;
2. Изучение методики экспериментального определения коэффициента гидравлического трения;

3. Экспериментальное определение коэффициента гидравлического трения и установление зависимости его от числа Рейнольдса.

## 2. Теоретические пояснения.

При движении жидкости по трубопроводам действуют гидравлические сопротивления, приводящие к потерям напора:  $h_f = h_e + h_m$ , где  $h_e$  - потери на трение жидкости по длине трубопровода;  $h_m$  - потери на преодоление местных сопротивлений.

Потери напора на длине трубопровода при ламинарном режиме течения жидкости в кругло-цилиндрическом трубопроводе имеют зависимость:

$$h_e = \frac{32\nu}{g} \cdot \frac{\ell}{d^2} g, \text{ где}$$

$\nu$  - кинематическая вязкость жидкости;

$\ell$  и  $d$  – длина и диаметр трубопровода;

$g$  - скорость движения жидкости.

Дарси-Вейсбах установили для определения потерь напора по длине трубопровода следующую формулу:

$$h_e = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{g^2}{2g}, \text{ где}$$

$\lambda = \frac{64}{\text{Re}_d}$  - безразмерный гидравлический коэффициент трения (коэффициент Дарси)

При ламинарном режиме движения жидкости гидравлический коэффициент  $\lambda$  является функцией числа Рейнольдса  $\lambda = f(\text{Re})$  и прямо пропорционален скорости. При турбулентном режиме течения жидкости коэффициент  $\lambda$  зависит не только от числа Рейнольдса, но и от размеров и формы неровностей на внутренней поверхности труб.

В виду постоянства объемного расхода несжимаемой жидкости вдоль трубы постоянного сечения скорость и удельная кинетическая энергия также остаются постоянными, несмотря на наличие гидравлических сопротивлений и потерь напора. Потери напора в этом случае определяются разностью показаний двух пьезометров (манометров).

Рассмотрим установившееся ламинарное течение жидкости в прямой круглой цилиндрической трубе с внутренним диаметром  $d=2r_0$ . Чтобы исключить влияние силы тяжести труба расположена горизонтально. Уравнение Бернулли для двух сечений установившегося режима течения жидкости имеет вид:

$$P_1/(\rho g) + h_e, \text{ где}$$

$h_e$  - потеря напора на трение по длине.

$h_e = (P_1 - P_2)/\rho g = P_e/(\rho g)$ , что и показывают пьезометры (манометры), установленные в этих сечениях.

## 3. Задание.

1. Измерение давления.
2. Произвести замеры времени прохождения через расходомер заданного объема рабочей жидкости.
3. Снять показания температуры жидкости.
4. Данные опытов занести в таблицу.

## 5. Определить число Рейнольдса и коэффициента Дарси.

Варианты	1			2			3			4			5			6			7			8			9		
Q, поворот (регулятор расхода)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3				7	8	9
τ, мин	3			3			3			4			4			4			5			5			5		

## 4. Порядок выполнения работы.

Коэффициент гидравлического трения определяется на участке трубопровода аб.

Для проведения экспериментов необходимо:

- включить питание стенда; τ
- включить питание электродвигателя;
- включить тумблер Р1 в положение «Вкл».

Опыты провести при различных значениях расхода. В каждом опыте необходимо регистрировать по манометрам МН1 и МН2 давления, а также время прохождения через расходомер заданного объема рабочей жидкости и температуру жидкости.

Данные опытов занести в таблицу.

Показания экспериментов

№ п/п	Объем жидкости V, л	Давление на участках, Р, МПа		Время прохождения задан. объема ж. τ, сек	Расход жидкости Q, м³/с	Скорость жидкости v, м/сек	Re	Температура жид-ти	Режим движения
		Р <sub>а</sub>	Р <sub>в</sub>					t, °С	
1									

Режим движения жидкости в общем случае зависит от скорости движения, размеров, плотности и вязкости жидкости. Режим движения жидкости характеризуется числам Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho v R}{\mu}, \text{ где}$$

R – гидравлический радиус потока (для труб круглого сечения  $R=d/4$ ).

$\mu$  - динамическая вязкость;  $\rho$ - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>; v - скорость движения жидкости, м/с.

$$v=Q/St, \text{ где}$$

Q- объем жидкости, л; S- площадь сечения трубки, м.

$$S=\pi r^2, \text{ где}$$

r-радиус сечения трубопровода, мм..

$$v=8,5cSt$$

Число Рейнольдса величина безразмерная. Для круглых цилиндрических труб с внутренним диаметром d:

$$\text{Re}_d = \frac{vd}{\nu} \text{ и } \text{Re} = 4 \text{Re}_{d_a}$$

По данным замеров в каждом опыте определить скорость движения заданного объема жидкости  $g$  м/сек и занести в таблицу.

Зная кинематическую вязкость масла, диаметр трубы и найденную скорость движения жидкости на участке трубопровода авс определить число Рейнольдса и режим движения жидкости. Результаты занести в таблицу.

$$1 \text{ литр} = 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$$

Потери на трение – это потери энергии, которые возникают в прямых трубах постоянного сечения т.е. при равномерном течении и возникают пропорционально длине трубы. Они обусловлены внутренним трением в жидкости и имеют место как в шероховатых, так и в гладких трубах.

Потерю напора на трение для гидравлических потерь выражают по формуле:

$$h_{mp} = \zeta_{mp} g^2 / (2g),$$

Коэффициент  $\zeta$  удобнее связать с относительной длиной трубы  $\ell/d$ . Тогда в единицах формула принимает вид:

$$P_{mp} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{g^2}{2} \cdot \rho \text{ или } P_{mp} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{g_{cp}^2}{2g}, \text{ где}$$

$\lambda$  - коэффициент потерь на трение:  $\lambda = 64/\text{Re}$ .

Безразмерный коэффициент в формуле Вейсбаха-Дарси называют коэффициентом потерь на трение по длине или коэффициентом Дарси.

Занести в таблицу показатели измерений. Определить число Рейнольдса и коэффициент Дарси. Результаты занести в таблицу.

## 5. Контрольные вопросы:

1. К чему приводят гидравлические сопротивления?
2. Способы определения коэффициента гидравлического трения.
3. Что такое потери на трение?
4. Формула коэффициента гидравлического трения.
5. Установление зависимости коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса.

## 6. Требования к отчету:

Отчет должен содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Теоретическую часть.
3. Задание.
4. Структурную схему исследований.
5. Схемы и графики.
6. Расчеты.
7. Краткие выводы о работе

## Литература:

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы. М, Машиностроение, 1970 г.
2. В.Е. Егорушкин., Б.И. Цеплович Основы гидравлики и теплотехники. М. Машиностроение 1981 г.
3. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередат. Под ред. С.С. Руднева и Л.Г. Подвиза.- М..1974 г.

### Лабораторная работа №5

#### Исследование нестационарных процессов истечения жидкости через гидродроссель.

##### 1. Цель работы:

1. Экспериментальное определение времени заполнения рабочей полости пружинного аккумулятора через гидродроссель;
2. Экспериментальное определение времени опорожнения через гидро-дроссель рабочей полости пружинного аккумулятора;
3. Определение расчетным путем характеристик, определяемых в п. 1 и 2, и сопоставление их с экспериментальными.

##### 2. Теоретические пояснения.

Неустановившемся, или стационарным, движением жидкости называется движение переменное по времени. При этом движении как вектор скорости, так и давление в жидкости являются функциями не только координат точки, но и времени, т.е.  $\partial \vartheta / \partial t \neq 0$  и  $\partial p / \partial t \neq 0$ .

В работе используются элементы гидропривода: гидроаккумулятор (А), гидрораспределитель (Р2) и гидродроссель (ДР<sub>2</sub>).

Гидроаккумулятор – емкость, предназначенная для аккумуляции (накапливания) энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением. Различают поршневые и диафрагменные аккумуляторы.

Гидрораспределителем называют гидроаппарат, предназначенный для изменения направления потока рабочей жидкости в двух или более гидролиниях в зависимости от внешнего управляющего воздействия.

Гидродросселем называют регулирующий гидроаппарат, предназначенный для поддержания заданного расхода в зависимости от перепада давления в подводимом (МН4) и отводимом (МН5) потоках рабочей жидкости.

Гидродроссель представляет собой местное гидравлическое сопротивление, с помощью которого создается перепад давлений, от которого зависит расход жидкости через дроссель. Регулирующие гидродроссели способны устанавливать определенную связь между перепадом давления до и после дросселя и пропускаемым расходом, т.е. возможности получения зависимости  $P = f(Q)$  желаемого вида.

Простейший нерегулируемый дроссель (рис.5) представляет собой длинный тонкий капилляр (а), втулку (б) или шайбу (в). Сопротивления, создаваемые такими дросселями, зависят от диаметра и длины канала

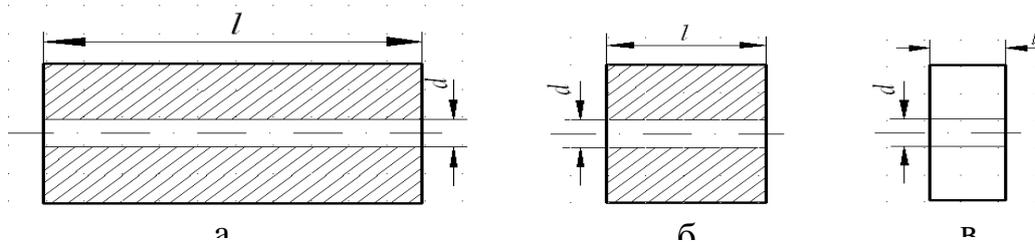


Рис. 5. Простейший нерегулируемый дроссель

Использование в качестве дросселей капилляров, т.е. длинных трубок со значительными сопротивлениями трения в зоне ламинарного течения позволяет получать дросселирующие элементы с линейной взаимосвязью между расходом  $Q$  и потерей  $P$  давления, что весьма желательно. Учитывая, что при ограниченной длине дроссельных капилляров, длина начального участка ламинарного потока соизмерима с полной длиной капилляра, линейность указанной взаимосвязи будет приближенной.

Как показывают опыты, во многих случаях гидравлические потери приблизительно пропорциональны скорости течения жидкости во второй степени. В гидравлике принят следующий общий способ выражения гидравлических потерь полного напора в линейных величинах:

$$h_n = \zeta g_{cp}^2 / (2g) = \zeta Q^2 / (2gS^2) \quad (1)$$

или в единицах давления

$$P_n = \rho g h_n = \zeta \rho g_{cp}^2 / 2 \quad (2)$$

Местные потери энергии обусловлены так называемыми местными гидравлическими сопротивлениями, т.е. местными изменениями формы и размера русла, вызывающими деформацию потока. При протекании жидкости через местные сопротивления изменяется её скорость. Примером местных сопротивлений являются гидродроссели.

Выражение (1) часто называют формулой Вейсбаха. В ней  $g$  - средняя по сечению скорость в трубе, в которой установлено данное местное сопротивление.

Каждое местное сопротивление характеризуется своим коэффициентом сопротивления  $\xi$ , которое приближенно можно считать постоянным для данной формы местного сопротивления.

Потеря напора при внезапном расширении русла равна скоростному напору, определенному по разности скоростей (теорема Борда):

$$h = (g_1 - g_2)^2 / 2g \quad (3)$$

Учитывая, что согласно уравнению расхода

$$g_1 S_1 = g_2 S_2,$$

то уравнение (3) можно записать в виде общего способа выражения местных потерь:

$$h = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right) \frac{g_1^2}{2g} = \xi \frac{g_1^2}{2g} \quad (4)$$

Следовательно, для внезапного расширения русла коэффициент потерь

$$\xi = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \quad (5)$$

Когда площадь  $S_2$  весьма велика по сравнению с площадью  $S_1$  и следовательно скорости  $g_2$  можно считать равной нулю, потеря на расширение

$$h = \mathcal{A}_1^2 / 2g, \quad (6)$$

т.е. в этом случае теряется весь скоростной напор (вся кинетическая энергия, которой обладает жидкость); коэффициент потерь  $\xi=1$ .

Коэффициенты потерь  $\xi$  при турбулентном потоке жидкости в трубе определяются в основном формой местных сопротивлений и очень мало изменяются с изменением абсолютных размеров русла, скорости потока и вязкости жидкости, т.е. с изменением числа Re, поэтому обычно принимают, что они не зависят от Re.

### 3. Задание.

1. Определить время заполнения рабочей полости пружинного аккумулятора через гидродроссель.
2. Определить время опорожнения через гидродроссель рабочей полости пружинного аккумулятора.
3. Расчет потери напора на участке трубопровода de.

Варианты	1			2			3			4			5			6			7			8			9					
Q <sub>поворот</sub> (регулятор расхода)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3							7	8	9
τ, мин	3			3			3			4			4			4			5			5			5					

### 4. Порядок выполнения работы.

Для проведения экспериментов необходимо:

- включить питание стенда;
- включить питание электродвигателя.

Дать возможность установке поработать 5-6 минут. После этого необходимо:

- тумблер включения режима секундомера переключить в положение «Вкл» и «Пуск».

Провести по 5-6 опытов (заполнений и опорожнении пружинного аккумулятора). Для этого необходимо воздействовать на тумблер управления гидрораспределителя Р2. при установке этого тумблера в положение «Вкл» происходит заполнение полости аккумулятора, а при установке в положение «Выкл» - опорожнение этой полости, которое происходит под действием пружины, взаимодействующей с поршнем.

В каждом опыте необходимо фиксировать время процесса. После завершения процесса секундомер автоматически останавливается. Перед началом следующего процесса показания секундомера необходимо сбрасывать с помощью кнопки «Сброс».

После проведения всех опытов необходимо отключить питание секундомера, электродвигателя и стенда.

Данные опытов занести в таблицу.

### Показания экспериментов

№ п/ п	Расход жидкости  Q, л	Давление P, МПа		Объем жидкости		Время		Скорост ь жидкост и $g_{cp}$ , м/сек
		МН4 P, Па	МН5 P, Па	Заполнения  V, л	Опорожнени я  V, л	Заполне -ния $\tau$ , сек	Опорож -нения $\tau$ , сек	
1								
...								
6								

Режим движения жидкости в общем случае зависит от скорости движения, размеров, плотности и вязкости жидкости. Режим движения жидкости характеризуется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho g R}{\mu}, \text{ где}$$

R – гидравлический радиус потока (для труб круглого сечения  $R=d/4$ ).

$\mu$  - динамическая вязкость;  $\rho$ - плотность жидкости,  $кг/м^3$ ;  $v$ - скорость движения жидкости, м/с.

$$v=Q/St, \text{ где}$$

Q- объем жидкости, л; S- площадь сечения трубки, м.

$$S=\pi r^2, \text{ где}$$

r-радиус сечения трубопровода, мм..

$$v=8,5 Cst$$

Число Рейнольдса величина безразмерная. Для круглых цилиндрических труб с внутренним диаметром d:

$$Re_d = \frac{vd}{\nu} \text{ и } Re = 4 Re_{d_d}$$

По данным замеров в каждом опыте определить скорость движения заданного объема жидкости  $g$  м/сек и занести в таблицу.

$$1 \text{ литр} = 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$1 \text{ cCT} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{c}$$

$$1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$$

По результатам эксперимента рассчитать потерю напора на участке трубопровода de.

#### 5. Контрольные вопросы:

1. Что такое нестационарное движение?
2. Назначение гидроаккумулятора.
3. Назначение гидрораспределителя.
4. Назначение гидродросселя.
5. Чем обусловлены местные потери энергии?

#### 6. Требования к отчету.

Отчет должен содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Теоретическую часть.

3. Задание.
4. Структурную схему исследований.
5. Схемы и графики.
6. Расчеты.
7. Краткие выводы о работе.

#### Литература:

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы. М, Машиностроение, 1970 г.
2. В.Е. Егорушкин., Б.И. Цеплович Основы гидравлики и теплотехники. М. Машиностроение 1981 г.
3. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидروпередат. Под ред. С.С. Руднева и Л.Г. Подвиза.- М..1974 г.

Формат 60x84 1/12  
Объем 27 стр. 2,25 печатный лист  
Тираж 20 экз.,  
Отпечатано в редакционно-издательском отделе  
КГУТиИ им. Ш Есенова  
г.Актау, 27 мкр.