

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Елабужский институт (филиал) ФГАОУ ВО КФУ
Кафедра общей инженерной подготовки

Киреев Б.Н.

Основы гидропривода. Гидравлические и
пневматические системы

Лабораторный практикум

Отчёты по выполненным работам.

Выполнил :
Студент _____ гр _____
Ф.И.О.

Проверил:
Преподаватель _____

Оценка _____

Елабуга
2016

УДК 621.22 (075.8)

ББК 30.123я723

К 43

Печатается по рекомендации Редакционно-издательского
совета Елабужского института (филиал) ФГАОУ ВО КФУ

Протокол № 10 от 29 сентября 2016 г.

Рецензенты:

к.т. н., доцент каф. ОИП ЕИ К(П)ФУ

И.С.Набиев

к.физ.-мат.н..доцент Наб.Челн. ПУ

И.А.Шакиров

Киреев Б.Н.

Учебное пособие: «Основы гидропривода.
Гидравлические и пневматические системы»
Лабораторный практикум. Отчёты по выполненным
работам. - Елабуга: ЕИ К(П)ФУ, 2016. - 68 с.

В учебном пособии приведены формы отчётов для 11
лабораторных работ (*краткое описание методики проведения
измерений, листы для проведения расчётов и построения
графиков*).

© Издательство Елабужского института К(П)ФУ, 2016 г

© Киреев Б.Н.

Введение

В данном учебном пособии приведены формы отчётов по выполненным работам лабораторного практикума.

В Приложении 1 приведены обозначения физических величин, используемых в лабораторном практикуме, и единицы их измерения.

В Приложении 2 приведены оценка погрешности измерений и правила приближённых вычислений и округлений полученных при расчётах физических величин.

Отчёт содержит:

- наименование лабораторной работы;
- цель;
- схема установки и объекта исследования;
- таблицы измеряемых и вычисляемых величин;
- результаты обработки данных эксперимента (с подстановкой числовых значений величин, полученных в ходе выполнения опытов);
- графики;
- выводы.

Не позже, чем на следующем лабораторном занятии, отчет о работе должен быть защищен.

Модуль 1. Гидродинамика

Отчёт по лабораторной работе № 1: «Измерение давления и расхода, определение режима течения жидкости»

Цели работы:

- ознакомление с единицами измерения физических величин;
- ознакомление с устройством и принципом действия манометров, вакуумметров, пьезометров, расходомеров и их основными характеристиками – *пределом измерений, ценой деления, классом точности*;
- ознакомление с режимами течения жидких и газообразных сред и методикой их определения.

Выполнение работы

1. Изучить установку



Рисунок 1.1. Общий вид стенда

На рис.1.1 дан общий вид установки (стенда). Принципиальная гидравлическая схема приведена на рис.1.2. Она приводится один раз (при выполнении работ №№ 1-4 модуля 1 «Гидродинамика»).

Отображение результатов измерения давления (датчики $D_1 - D_4$) осуществляется на стенде в цифровом виде.

2. Провести измерения

Результаты испытаний занести в таблицу 1.1.

Провести расчёты.

При выполнении самостоятельной работы данные для расчётов взять из табл 1.3 (вариант задания определяется преподавателем).

Расчёты

Опыт 1. Находим:

а) расход жидкости:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

б) площадь сечения трубопровода:

$$S_6 = S_7 = \frac{3,14 \cdot (\cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

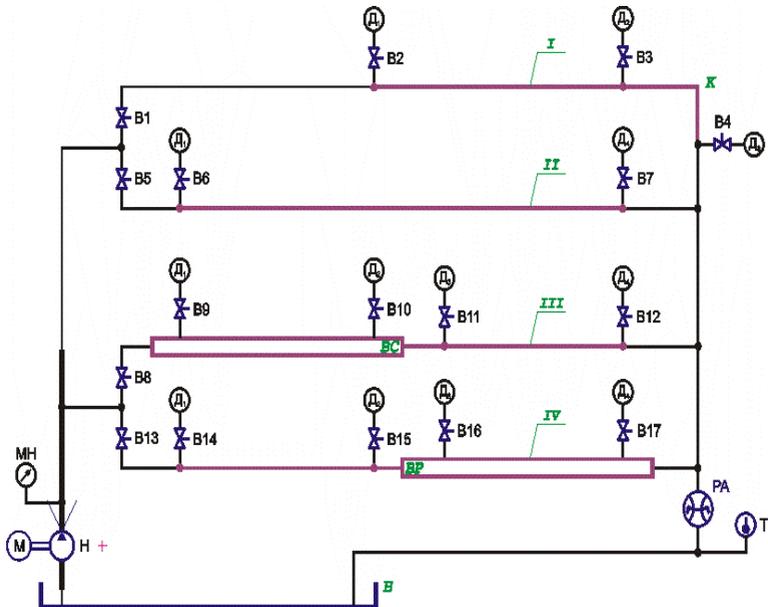


Рисунок 1.2. Схема гидравлическая принципиальная

в) скорость движения жидкости через сечения:

$$S_6 = S_7 \quad u_6 = u_7 = \frac{Q}{S_6} = \frac{(\cdot 10^{-3}) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{(\cdot 10^{-4}) \text{ м}^2} = \quad \text{м/с};$$

Таблица 1.1 Результаты исследований.

Номер опыта	1	2	3
Время τ прохождения через расходомер объема V , с			
Объем V , м ³			
Температура $t^0\text{C}$			
Расход Q , м ³ /с			
Средняя скорость U , м/с			
Число Рейнольдса Re			
Режим течения			

Таблица 1.2.		
Температура T ⁰ C	Плотность $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Динам. вязкость $\eta, \text{Па} \cdot \text{с}$
16	999,0	$11,19 \cdot 10^{-4}$
18	998,7	$10,59 \cdot 10^{-4}$
20	998,3	$10,08 \cdot 10^{-4}$
22	997,8	$9,88 \cdot 10^{-4}$
24	997,2	$9,61 \cdot 10^{-4}$
26	996,7	$9,38 \cdot 10^{-4}$

г) число Рейнольдса (данные по плотности и динамической вязкости взять из таблицы 1.2)

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot u_6}{\eta} = \frac{\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Па} \cdot \text{с}} = \dots$$

Данные расчётов занести в табл. 1.1.

Вывод: число Рейнольдса больше (меньше) 4000, следовательно режим течения турбулентный (ламинарный). Нужно значение подчеркнуть двойной чертой.

Опыт 2. Находим:

а) расход жидкости:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

б) площадь сечения трубопровода:

$$S_6 = S_7 = \frac{3,14 \cdot (\dots \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \dots \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

в) скорость движения жидкости через сечения:

$$S_6 = S_7 \quad u_6 = u_7 = \frac{Q}{S_6} = \frac{(\quad \cdot 10^{-3}) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{(\quad \cdot 10^{-4}) \text{м}^2} = \quad \text{м/с};$$

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot u_6}{\eta} = \frac{\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Па} \cdot \text{с}} = \quad .$$

Полученные результаты занести в табл. 1.1.

Вывод: число Рейнольдса больше (меньше) 4000, следовательно режим течения турбулентный (ламинарный). Нужно значение подчеркнуть двойной чертой.

Таблица 1.3. Данные для самостоятельной работы.

Номер опыта	1	2	3
Время τ прохождения через расходомер объема V , с	62	50	40
Объем V , л	20	15	10
Температура $T^{\circ}\text{C}$	18	20	22

Опыт 3. Находим:

а) расход жидкости:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

б) площадь сечения трубопровода:

$$S_6 = S_7 = \frac{3,14 \cdot (\quad \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \quad \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

в) скорость движения жидкости через сечения:

$$S_6 = S_7 \quad u_6 = u_7 = \frac{Q}{S_6} = \frac{(\quad \cdot 10^{-3}) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{(\quad \cdot 10^{-4}) \text{м}^2} = \quad \text{м/с};$$

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot u_6}{\eta} = \frac{\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Па} \cdot \text{с}} = \quad .$$

Полученные результаты занести в табл. 1.1.

Вывод: число Рейнольдса больше (меньше) 4000, следовательно режим течения турбулентный (ламинарный). Нужно значение подчеркнуть двойной чертой.

Отчёт по лабораторной работе № 2: «Построение напорной и пьезометрической линий трубопровода»

Цели работы:

- уяснить физическую сущность полного напора и всех его составляющих: геометрического, пьезометрического и скоростного напоров;
- уяснить физическую сущность закона Бернулли;
- построить напорную и пьезометрические линии трубопровода;
- построить графические зависимости изменения мощности потока по длине трубопровода.

Выполнение работы

1. Изучить установку

Перед выполнением работы просмотреть раздел «Изучить установку» в лабораторной работе № 1.

2. Провести измерения

Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

Провести расчёты.

При самостоятельном (виртуальном) выполнении работы данные для расчётов взять из таблицы 2.2. Номер варианта задания согласовывается с преподавателем.

Расчёты

Опыт 1. Находим:

а) расход жидкости:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

б) площадь сечения трубопровода:

$$S_{14} = S_{15} = \frac{3,14 \cdot (\quad \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \quad \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$S_{16} = S_{17} = \frac{3,14 \cdot (\quad \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \quad \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

в) скорость движения жидкости через сечения:

$$S_{14} = S_{15} \quad u_{14} = u_{15} = \frac{Q}{S_{14}} = \frac{(\cdot 10^{-3}) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{(\cdot 10^{-4}) \text{м}^2} = \quad \text{м/с};$$

$$S_{16} = S_{17} \quad u_{16} = u_{17} = \frac{Q}{S_{16}} = \frac{(\cdot 10^{-3}) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{(\cdot 10^{-4}) \text{м}^2} = \quad \text{м/с};$$

Таблица 2.1. Данные эксперимента и результаты расчётов

Номер опыта		i – номер сечения трубопровода	p_i – величина давления, МПа	V – объем воды, проходящей через расходомер, м ³	t – время прохождения объема через расходомер, с	T – температура воды, °С	Q – расход воды, м ³ /с	u – средняя скорость, м/с	Re – число Рейнольдса	z_i – геометрический напор, м	$p_i / (\rho \cdot g)$ – пьезометрический напор, м	$\alpha \cdot v^2 / (2 \cdot g)$ – скоростной напор, м	$z_i + p_i / (\rho \cdot g)$ – удельная потенциальная энергия потока, м	H_i – полный напор, м	N_i – мощность потока, Вт
1	14			10 · 10 ⁻³											
	15														
	16														
	17														
2	14			10 · 10 ⁻³											
	15														
	16														
	17														

Таблица 2.2. Варианты контрольного задания для
самостоятельной работы

Вариант	1	2	3	4	5	6
Изм. велич.						
V, л	5	10	15	20	25	30
τ, с.	15	30	45	60	75	90
T, °C.	18	20	22	24	18	20
d₁, мм	8	10	6	8	10	6
d₂, мм	15	20	12	15	20	12
L₁₄₋₁₅, мм	300					
L₁₆₋₁₇, мм	500					
L_{15-м}, мм	120					
L_{м-16}, мм	240					
P₁₄, КПа	267	265	270	250	240	256
P₁₅, КПа	248	255	210	230	230	200
P₁₆, КПа	228	239	190	210	204	180
P₁₇, КПа	226	237	187	208	203	174

$$\frac{P_{14}}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м.}$$

$$\frac{P_{15}}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м.}$$

$$\frac{P_{16}}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м.}$$

$$\frac{P_{17}}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м.}$$

е) Полные напоры определяем из соотношения:

$$H_i = z_i + \frac{P_i}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot (u_i)^2}{2 \cdot g}$$

Геометрические напоры одинаковы во всех сечениях.

Проводя нулевой уровень вдоль оси трубопровода, получим значения z_i , равные 0 во всех сечениях.

Коэффициенты Кориолиса для турбулентных течений равны 1.

$$H_{14} = \frac{P_{14}}{\rho \cdot g} + \frac{(u_{14})^2}{2 \cdot g} = \text{м} + \frac{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м.}$$

$$H_{15} = \frac{P_{15}}{\rho \cdot g} + \frac{(u_{15})^2}{2 \cdot g} = \text{м} + \frac{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м.}$$

$$H_{16} = \frac{P_{16}}{\rho \cdot g} + \frac{(u_{16})^2}{2 \cdot g} = \text{м} + \frac{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м.}$$

$$H_{17} = \frac{P_{17}}{\rho \cdot g} + \frac{(u_{17})^2}{2 \cdot g} = \text{м} + \frac{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м.}$$

ж) Полная мощность жидкости определяется следующим образом:

$$N_i = H_i \cdot \rho \cdot g \cdot Q_i = P_i \cdot Q_i \quad (P_i = \rho \cdot g \cdot H_i - \text{рассчитать предварительно})$$

В сечении 14 $N_{14} = \quad \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{Вт}$

В сечении 15 $N_{15} = \quad \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{Вт}$

В сечении 16 $N_{16} = \quad \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{Вт}$

В сечении 17 $N_{17} = \quad \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{Вт}$

з) Потери напора между сечениями:
14 и 15

$$h_{14-15} = H_{14} - H_{15} = \quad \text{м} - \quad \text{м} = \quad \text{м}.$$

16 и 17

$$h_{16-17} = H_{16} - H_{17} = \quad \text{м} - \quad \text{м} = \quad \text{м}.$$

и) Потери мощности между двумя сечениями можно определить по разности значений мощности (пункт б)

$$\Delta N_{14-15} = (\quad - \quad) \text{ Вт} = \quad \text{Вт}.$$

к) Гидравлические уклоны на участках между сечениями 14-

15 и 16-17:
$$I = \frac{(H_i - H_{i,i+1})}{L} = \frac{(h_{i,i+1})}{L}.$$

$$I_{14-15} = \frac{(H_{14} - H_{15})}{L_{14-15}} = \frac{h_{14-15}}{L_{14-15}} = \frac{\quad \text{м}}{\quad \text{м}}$$

$$I_{16-17} = \frac{(H_{16} - H_{17})}{L_{16-17}} = \frac{h_{16-17}}{L_{16-17}} = \frac{\quad \text{м}}{\quad \text{м}}$$

Полученные данные занести в табл.2.1.

Опыт 2. Находим:

а) расход жидкости:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

б) площадь сечения трубопровода:

$$S_{14} = S_{15} = \frac{3,14 \cdot (\quad \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \quad \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$S_{16}=S_{17} = \frac{3,14 \cdot (\quad \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \quad \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

в) скорость движения жидкости через сечения:

$$S_{14}=S_{15} \quad u_{14}=u_{15} = \frac{Q}{S_{14}} = \frac{(\quad \cdot 10^{-3}) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{(\quad \cdot 10^{-4}) \text{ м}^2} = \quad \text{м/с};$$

$$S_{16}=S_{17} \quad u_{16}=u_{17} = \frac{Q}{S_{16}} = \frac{(\quad \cdot 10^{-3}) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{(\quad \cdot 10^{-4}) \text{ м}^2} = \quad \text{м/с};$$

г) число Рейнольдса (данные по плотности и динамической вязкости взять из таблицы 1.2. При $^{\circ}\text{C}$ значения

плотности $\rho = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, вязкости $\eta = \quad \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$).

Для сечений 14,15 получаем :

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot d_{14} \cdot u_{14}}{\eta} = \frac{(\quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}) \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Па} \cdot \text{с}} =$$

Для сечений 16,17 значение числа Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot d_{16} \cdot u_{16}}{\eta} = \frac{(\quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}) \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Па} \cdot \text{с}} =$$

д) Пьезометрические напоры в выбранных сечениях:

$$\frac{P_{14}}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \quad \text{м.}$$

$$\frac{P_{15}}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \quad \text{м.}$$

$$\frac{P_{16}}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \quad \text{м.}$$

$$\frac{P_{17}}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \quad \text{м.}$$

е) Полные напоры определяем из соотношения:

$$H_i = z_i + \frac{P_i}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot (u_i)^2}{2 \cdot g}$$

Геометрические напоры одинаковы во всех сечениях.
Проводя нулевой уровень вдоль оси трубопровода, получим значения z_i , равные 0 во всех сечениях.

Коэффициенты Кориолиса для турбулентных течений равны 1.

$$H_{14} = \frac{P_{14}}{\rho \cdot g} + \frac{(u_{14})^2}{2 \cdot g} = M + \frac{\left(\frac{M}{c}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{M}{c^2}} = \quad \text{м.}$$

$$H_{15} = \frac{P_{15}}{\rho \cdot g} + \frac{(u_{15})^2}{2 \cdot g} = M + \frac{\left(\frac{M}{c}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{M}{c^2}} = \quad \text{м.}$$

$$H_{16} = \frac{P_{16}}{\rho \cdot g} + \frac{(u_{16})^2}{2 \cdot g} = M + \frac{\left(\frac{M}{c}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{M}{c^2}} = \quad \text{м.}$$

$$H_{17} = \frac{P_{17}}{\rho \cdot g} + \frac{(u_{17})^2}{2 \cdot g} = M + \frac{\left(\frac{M}{c}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{M}{c^2}} = \quad \text{м.}$$

ж) Полная мощность жидкости определяется следующим образом:

$$N_i = H_i \cdot \rho \cdot g \cdot Q_i = P_i \cdot Q_i \quad (P_i = \rho \cdot g \cdot H_i - \text{рассчитать предварительно})$$

$$\text{В сечении 14} \quad N_{14} = \quad \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{вт}$$

$$\text{В сечении 15} \quad N_{15} = \quad \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{вт}$$

$$\text{В сечении 16} \quad N_{16} = \quad \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{вт}$$

$$\text{В сечении 17} \quad N_{17} = \quad \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{вт}$$

з) Потери напора между сечениями:

14 и 15

$$h_{14-15} = H_{14} - H_{15} = \quad \text{м} - \quad \text{м} = \quad \text{м.}$$

16 и 17

$$h_{16-17} = H_{16} - H_{17} = \quad \text{м} - \quad \text{м} = \quad \text{м.}$$

Для построения графиков можно использовать сетку (рис.2.2). Примерный вид графиков приведен на рис.2.5, часть 1 Выводы.

Отчёт по лабораторной работе № 3: «**Определение коэффициентов местных гидравлических сопротивлений**»

Цели работы:

- изучение методики экспериментального определения коэффициентов местных гидравлических сопротивлений;
- экспериментальное определение коэффициентов местных сопротивлений: колена К (поворота на 90°), внезапного сужения ВС и внезапного расширения ВР.

Выполнение работы

1. Изучить установку

Перед выполнением работы просмотреть раздел «**Изучить установку**» в лабораторной работе № 1.

2. Провести измерения

Первый случай, **колена** (см. рис.5.7а, часть 1).

Таблица 3.1 – Результаты исследований по определению ϵ_k колена (для самостоятельной работы данные взять из таблицы 3.2.)

Измеряемые параметры	Обозначение	Размерность	Численное значение	
			1-ый опыт	2-ой опыт
Давления: сеч.2	p_2	кПа		
	сеч. 3	p_3	кПа	
	сеч. 4	p_4	кПа	

Измеряемые параметры	Обозначение	Размерность	Численное значение	
			1-ый опыт	2-ой опыт
Время прохождения через расходомер объема V , л	τ	с		
Температура воды	t^0	$^{\circ}\text{C}$		
Вычисляемые параметры				
Расход	Q	$\text{м}^3/\text{с}$		
Средняя скорость:	сеч. 2	u_2	$\text{м}/\text{с}$	
	сеч. 3	u_3	$\text{м}/\text{с}$	
	сеч. 4	u_4	$\text{м}/\text{с}$	
Число Рейнольдса	Re	–		
Коэффициент Кориолиса	α	–		
Скоростные напоры:	сеч. 2	$\alpha u_2^2/2g$	м	
	сеч. 3	$\alpha u_3^2/2g$	м	
	сеч. 4	$\alpha u_4^2/2g$	м	
Геометрические напоры:	сеч. 2	z_2	м	
	сеч. 3	z_3	м	
	сеч. 4	z_4	м	
Пьезометрические напоры:	сеч. 2	P_2/ρ g	м	
	сеч. 3	P_3/ρ g	м	
	сеч. 4	P_4/ρ g	м	
Полные напоры:	сеч. 2	H_2	м	
	сеч. 3	H_3	м	
	сеч. 4	H_4	м	
Гидравлический уклон	I	–		
Потери напора в местном сопротивлении (колене)	h_M	м		
Коэффициент местного сопротивления	ϵ_M	–		
Среднее значение	ϵ_M^{CP}			

Измеряемые параметры	Обозначение	Размерность	Численное значение	
			1-ый опыт	2-ой опыт
коэфф.местных потерь				
Относит. ошибка определения коэфф. местных потерь	β			

Расчёты

Опыт 1. Находим:

а) расход жидкости:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{c} = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{c};$$

б) площадь сечения трубопровода:

$$S_2 = S_3 = S_4 = \frac{3,14 \cdot (\quad \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \quad \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

в) скорость движения жидкости через сечения:

$$u_2 = u_3 = u_4 = \frac{Q}{S_2} = \frac{(\quad \cdot 10^{-3}) \frac{\text{м}^3}{c}}{(\quad \cdot 10^{-4}) \text{ м}^2} = \quad \text{м/с};$$

г) число Рейнольдса (данные по плотности и динамической вязкости взять из таблицы 1.2. При $^{\circ}\text{C}$ значения

плотности $\rho = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, вязкости $\eta = \quad \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$).

Для сечений 2,3,4 значение числа Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot d_2 \cdot u_2}{\eta} = \frac{\left(\quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Па} \cdot \text{с}} =$$

Полученные данные занести в табл.3.1.

Так как режим течения *турбулентный (ламинарный)*, коэффициенты Кориолиса в уравнении Бернулли берём равными 1 (2).

Подчеркнуть двойной чертой режим течения жидкости и выбранное значение коэффициента Кориолиса.

Таблица 3.2 Данные для самостоятельной работы по определению ϵ_k колена

Измеряемые параметры	Обозначение	Размерность	Численное значение
Давления:	сеч. 2	p_2	
		кПа	260
	сеч. 3	p_3	кПа
сеч. 4	p_4	кПа	170
Время прохождения через расходомер объема V (20 л)	τ	с	76
Температура воды	T	°C	22

д) На контрольном участке 2-3 линейные потери напора h_{2-3} определяются следующим образом (местные потери отсутствуют):

$$H_2 = \frac{P_2}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \quad \text{м.}$$

$$H_3 = \frac{P_3}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \quad \text{м.}$$

$$h_{2-3}^{\text{л}} = H_2 - H_3 = \quad \text{м} - \quad \text{м} = \quad \text{м.}$$

Гидравлический уклон на контрольном участке

$$I_{2-3} = \frac{h_{2-3}^{\text{л}}}{L_{2-3}} = \frac{\quad \text{м}}{0,6 \text{ м}} =$$

Так как трубопровод имеет постоянный диаметр, то и на участке 3-4 гидравлический уклон будет таким же: $I_{2-3} = I_{3-4}$.

е) Линейные потери напора на участке 3-4:

$$h_{3-4}^{\text{л}} = I_{3-4} \cdot L_{3-4} = \quad \cdot 0,3 \text{ м} = \quad \text{м}$$

ж) Местные потери напора на участке 3-4

$$h_M = z_3 + \frac{(P_3 - P_4)}{\rho g} - h_{3-4}^{\text{л}};$$

$$h_M = 0,15 \text{ м} + \frac{10^{-3} \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} - \text{ м}$$

з) Коэффициент местных гидравлических потерь находим из формулы Вейсбаха :

$$\epsilon_M = \frac{2 \cdot g \cdot h_M}{u^2} = \frac{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{ м}}{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)^2} = \frac{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \dots$$

Полученные данные занести в таблицу 3.1.

Опыт 2. Находим:

а) расход жидкости:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{ с}} = \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{ м}^3}{\text{ с}};$$

б) площадь сечения трубопровода:

$$S_2 = S_3 = S_4 = \frac{3,14 \cdot \left(\dots \cdot 10^{-3} \text{ м} \right)^2}{4} = \dots \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

в) скорость движения жидкости через сечения:

$$u_2 = u_3 = u_4 = \frac{Q}{S_2} = \frac{\left(\dots \cdot 10^{-3} \right) \frac{\text{ м}^3}{\text{ с}}}{\left(\dots \cdot 10^{-4} \right) \text{ м}^2} = \dots \text{ м/с};$$

г) число Рейнольдса (данные по плотности и динамической вязкости взять из таблицы 1.2. При 0°С значения

плотности $\rho = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, вязкости $\eta = \dots \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{ с}$).

Для сечений 2,3,4 значение числа Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot d_2 \cdot u_2}{\eta} = \frac{\left(\dots \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \frac{\text{ м}}{\text{ с}}}{\text{ Па} \cdot \text{ с}} =$$

Полученные данные занести в табл.2.1.

Так как режим течения *турбулентный (ламинарный)*, коэффициенты Кориолиса в уравнении Бернулли берём равными 1 (2). Подчеркнуть двойной чертой режим течения жидкости и выбранное значение коэффициента Кориолиса.

д) На контрольном участке 2-3 линейные потери напора h_{2-3} определяются следующим образом (местные потери отсутствуют):

$$H_2 = \frac{P_2}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \quad \text{м.}$$

$$H_3 = \frac{P_3}{\rho \cdot g} = \frac{10^3 \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \quad \text{м.}$$

$$h_{2-3}^{\text{л}} = H_2 - H_3 = \quad \text{м} - \quad \text{м} = \quad \text{м.}$$

Гидравлический уклон на контрольном участке

$$I_{2-3} = \frac{h_{2-3}^{\text{л}}}{L_{2-3}} = \frac{\quad \text{м}}{0,6 \text{ м}} =$$

Так как трубопровод имеет постоянный диаметр, то и на участке 3-4 гидравлический уклон будет таким же: $I_{2-3} = I_{3-4}$.

е) Линейные потери напора на участке 3-4:

$$h_{3-4}^{\text{л}} = I_{3-4} \cdot L_{3-4} = \quad \cdot 0,3 \text{ м} = \quad \text{м}$$

ж) Местные потери напора на участке 3-4

$$h_{\text{м}} = z_3 + \frac{(P_3 - P_4)}{\rho g} - h_{3-4}^{\text{л}};$$

$$h_{\text{м}} = 0,15 \text{ м} + \frac{\quad \cdot 10^{-3} \text{ Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} - \quad \text{м}$$

з) Коэффициент местных гидравлических потерь находим из формулы Вейсбаха :

$$\epsilon_{\text{м}} = \frac{2 \cdot g \cdot h_{\text{м}}}{u^2} = \frac{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \quad \text{м}}{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)^2} = \frac{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \quad .$$

Полученные данные занести в таблицу 3.1.

Рассчитать среднее значение коэффициента местных потерь для колена и найти расхождение со справочными данными:

$$\epsilon_{\text{м}}^{\text{ср}} = \frac{\epsilon_{\text{м}1} + \epsilon_{\text{м}2}}{2}; \quad \beta = \frac{|\epsilon_{\text{м}}^{\text{ср}} - \epsilon_{\text{срп}}|}{\epsilon_{\text{м}}^{\text{ср}}} \cdot 100\%.$$

$$\epsilon_{\text{м}}^{\text{ср}} = \frac{|\quad + \quad|}{2} = \quad ; \quad \beta = \frac{|\quad - \quad|}{\quad} \cdot 100\% = \quad \%.$$

Примечание: при повороте трубопровода на 180° справочные значения $\varepsilon_m = 3,6$.

Выводы.

Отчёт по лабораторной работе № 4 «Определение коэффициента гидравлического трения»

Цели работы:

- изучение способов определения коэффициента гидравлического трения;
- определение коэффициента гидравлического трения стального трубопровода.

Выполнение работы

1. Изучить установку

Перед выполнением работы просмотреть раздел «*Изучить установку*» в лабораторной работе № 1.

2. Провести измерения

Данные измерений занести в табл. 4.1.

При самостоятельном выполнении работы данные для расчётов взять из таблицы 4.2 (вариант определяется преподавателем)

Расчёты

Опыт 1. Находим:

а) расход жидкости:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{c} = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{ м}^3}{\text{ с}};$$

б) площадь сечения трубопровода:

$$S_6 = S_7 = \frac{3,14 \cdot (\quad \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \quad \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

в) скорость движения жидкости через сечения:

$$S_6 = S_7 \quad u_6 = u_7 = \frac{Q}{S_{14}} = \frac{(\quad \cdot 10^{-3}) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{(\quad \cdot 10^{-4}) \text{м}^2} = \quad \text{м/с};$$

г) число Рейнольдса (данные по плотности и динамической вязкости взять из таблицы 1.2. При $^{\circ}\text{C}$ значения

плотности $\rho = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, вязкости $\eta = \quad \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$).

Для сечений 6,7 получаем :

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot d_6 \cdot u_6}{\eta} = \frac{(\quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}) \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Па} \cdot \text{с}} =$$

д) Экспериментальное значение коэффициента гидравлического трения на участке между сечениями 6 и 7:

$$\lambda_{\text{эксп}} = \frac{2g \cdot d \cdot h_{\text{л}}}{L \cdot u^2}$$

Здесь $h_{\text{л}} = \frac{P_6}{\rho \cdot g} - \frac{P_7}{\rho \cdot g} = H_6 - H_7$, где H_6 и H_7 — пьезометрические напоры соответственно в начальном и конечном сечениях исследуемого трубопровода.

Получим экспериментальное значение коэффициента гидравлического трения на участке между сечениями 6 и 7:

$$\lambda_{\text{эксп}} = \frac{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \quad \text{м} \cdot \quad \text{м}}{1 \text{ м} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \quad .$$

Для определения коэффициента гидравлического трения расчетным путем (обозначен $\lambda_{\text{расч}}$) 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, см. ниже). Численное значение $\Delta_{\text{Э}}$ можно взять из справочных данных. Учитывая, что исследуется стальной новый трубопровод, $\Delta_{\text{Э}}$ можно взять равным 0,05.

После установления зоны, в которой происходит течение жидкости, нужно воспользоваться формулой, рекомен-

дуемой для вычисления λ в этой зоне. Так, например, если течение происходит в первой зоне ($Re < 2320$), то нужно воспользоваться формулой $\lambda = \frac{64}{Re}$ или номограммой Кольбука-Уайта.

Таблица 4.1. Результаты эксперимента и расчётов

Номер опыта	Показания манометров, КПа		h_n – потери напора, м	V – объем жидкости, проходящей через расходомер, $m^3 \cdot 10^{-3}$	τ – время прохождения объема, с	T – температура рабочей жидкости, °C	$Q = V / \tau$ – расход, m^3/c	u – средняя скорость, м/с	Re – число Рейнольдса	Коэффициент гидравлического трения	
	P_6	P_7								λ_{Σ}	λ_P
1											
2											

Таблица 4.2. Варианты задания для самостоятельной работы

Вариант	1	2	3	4	5	6
Изм. велич.						
V , л	5	10	15	20	25	30
τ , с.	15	30	45	60	75	90

T, °C.	18	20	22	24	18	20
d, мм	8	10	6	8	10	6
L ₆₋₇ , м	1,0	0,9	0,8	1,2	1,1	0,7
P ₆ , КПа	267	265	270	250	240	256
P ₇ , КПа	148	185	170	150	130	165

Находим область, в которой происходит течение жидкости. Для этого определим значение

$$\frac{d}{\Delta_3} = \frac{8 \text{ мм}}{0,05 \text{ мм}} = 160.$$

$$10 \cdot \frac{d}{\Delta_3} = 1600 ; \quad 560 \cdot \frac{d}{\Delta_3} = 89600.$$

Расчёты показывают, что это 2-ая турбулентная зона:

$$1600 \leq Re = \leq 89600.$$

Для этой зоны можно использовать уравнение :

$$\lambda_{\text{расч}} = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,05 \text{ мм}}{8 \text{ мм}} + \frac{68}{\quad} \right)^{0,25} =$$

(Записать формулу и провести вычисления).

Расхождение экспериментального и расчётного значений коэффициента гидравлического трения составляет:

$$\beta = \frac{|\lambda_{\text{эксп}} - \lambda_{\text{расч}}|}{\lambda_{\text{эксп}}} = \frac{|\quad - \quad|}{\quad} 100\% = \quad \%$$

Полученные данные занести в табл.4.1

Опыт 2. Находим:

а) расход жидкости:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

б) площадь сечения трубопровода:

$$S_6 = S_7 = \frac{3,14 \cdot (\quad \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \quad \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

в) скорость движения жидкости через сечения:

$$S_6 = S_7 \quad u_6 = u_7 = \frac{Q}{S_{14}} = \frac{(\quad \cdot 10^{-3}) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{(\quad \cdot 10^{-4}) \text{м}^2} = \quad \text{м/с};$$

г) число Рейнольдса (данные по плотности и динамической вязкости взять из таблицы 1.2. При \quad °С значения

плотности $\rho = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, вязкости $\eta = \quad \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$).

Для сечений 6,7 получаем :

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot d_6 \cdot u_6}{\eta} = \frac{(\quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}) \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Па} \cdot \text{с}} =$$

д) Экспериментальное значение коэффициента гидравлического трения на участке между сечениями 6 и 7:

$$\lambda_{\text{эксп}} = \frac{2g \cdot d \cdot h_{\text{л}}}{L \cdot u^2}$$

Здесь $h_{\text{л}} = \frac{P_6}{\rho \cdot g} - \frac{P_7}{\rho \cdot g} = H_6 - H_7$, где H_6 и H_7 —

пьезометрические напоры соответственно в начальном и конечном сечениях исследуемого трубопровода.

Получим экспериментальное значение коэффициента гидравлического трения на участке между сечениями 6 и 7:

$$\lambda_{\text{эксп}} = \frac{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \quad \text{м} \cdot \quad \text{м}}{1 \text{ м} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \quad .$$

Для определения коэффициента гидравлического трения расчетным путем (обозначен $\lambda_{\text{расч}}$) необходимо для каждого опыта установить, в какой зоне гидравлического сопротивления про-исходит течение жидкости.

Для определения зоны гидравлического сопротивления необходимо использовать численное значение Re (из таблицы 4.1, см.ниже). Численное значение Δ_3 можно взять из справочных данных. Учитывая, что исследуется стальной новый трубопровод, Δ_3 можно взять равным 0,05. После установления зоны, в которой происходит течение жидкости, нужно вос-

пользоваться формулой, рекомендуемой для вычисления λ в этой зоне. Так, например, если течение происходит в первой зоне ($Re < 2320$), то нужно воспользоваться формулой $\lambda = \frac{64}{Re}$ или номограммой Кольбука-Уайта.

Находим область, в которой происходит течение жидкости. Для этого определим значение:

$$\frac{d}{\Delta_3} = \frac{8 \text{ мм}}{0,05 \text{ мм}} = 160.$$

$$10 \cdot \frac{d}{\Delta_3} = 1600 ; \quad 560 \cdot \frac{d}{\Delta_3} = 89600.$$

Расчёты показывают, что это 2-ая турбулентная зона:

$$1600 \leq Re \leq 89600.$$

Для этой зоны можно использовать уравнение :

$$\lambda_{\text{расч}} = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,05 \text{ мм}}{8 \text{ мм}} + \frac{68}{\quad} \right)^{0,25} =$$

(Записать формулу и провести вычисления).

Расхождение экспериментального и расчётного значений коэффициента гидравлического трения составляет:

$$\beta = \frac{|\lambda_{\text{эксп}} - \lambda_{\text{расч}}|}{\lambda_{\text{эксп}}} = \frac{|\quad - \quad|}{\quad} 100\% = \quad \%$$

Данные занести в табл. 4.1

Выводы

Модуль 2. Гидравлические машины. Гидропривод

Отчёт по лабораторной работе № 5: «Изучение устройства и определение рабочих характеристик шестерённого насоса»

Цели работы:

- изучение основных теоретических положений по исследованию характеристик объемных насосов;

- ознакомление со стендом для испытания гидросистем и снятие на нём характеристик шестерённого насоса.

Примечание: фото стенда для выполнения лабораторных работ №№5-7 и полная гидравлическая схема установки приводится один раз, в данной работе.

Выполнение работы

1. Изучить установку

Фото стенда (НТИЦ 36.100) приведено на рис. 5.1.

Полная гидравлическая схема установки для снятия характеристик гидравлических машин и объёмного гидропривода дана на рис.5.2.



Рисунок 5.1. Фото стенда.

Гидравлическая схема, используемая в данной работе, составляет часть общей гидравлической схемы стенда.

2. Провести измерения

Снять три показания приборов. Данные занести в табл.5.1

Рассчитать необходимые характеристики исследуемого насоса.

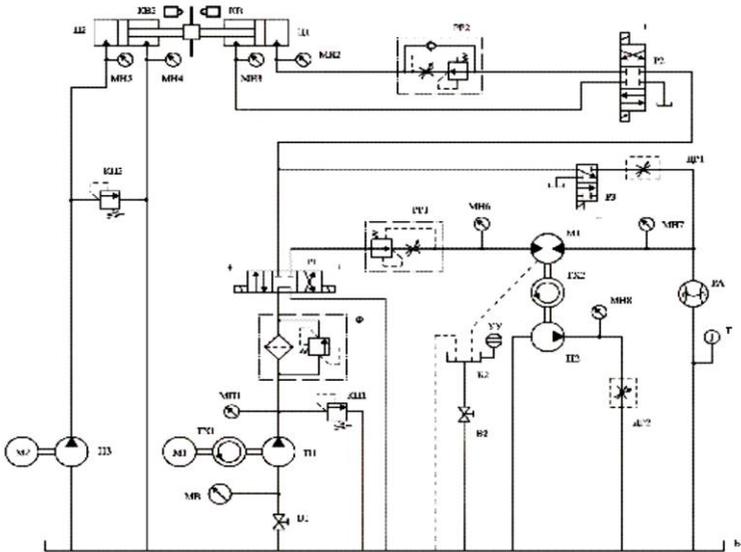


Рисунок 5.2. Полная гидравлическая схема стенда

Расчёты

Опыт 1. Находим.

а) подачу (производительность) насоса:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

б) идеальную подачу:

$$Q_{\text{ид}} = V_0 \cdot n = (10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3) \cdot \left(\frac{1}{\text{с}}\right) = \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \dots \text{ л/мин};$$

в) объёмный к.п.д насоса

$$\eta_0 = \frac{Q}{Q_{\text{ид}}} = \frac{\dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{\dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}} = \dots;$$

г) полезную мощность, сообщаемую насосом жидкости:

$$N_{\text{п}} = \Delta P \cdot Q \text{ (Вт)} = (P_{\text{м}} - P_{\text{в}}) \cdot Q \text{ (Вт)};$$

$$N_{\text{п}} = [\dots \text{ МПа} - (- \dots \text{ КПа})] \cdot \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \dots \text{ Вт};$$

д) полную (затраченную) мощность насоса $N = M \cdot \omega$.
 М-крутящий момент на валу насоса, в данной работе не определяется, поэтому рассчитать затраченную мощность невозможно.

Гидравлический к.п.д $\eta_r = 1$ для шестерённых насосов.

е) К.п.д насосной установки :

$$\eta_{\text{ну}} = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{ну}}} = \frac{\text{Вт}}{\text{Вт}} = \dots$$

Результаты расчётов занести в таблицу 5.2.

Опыт 2. Находим:

а) подачу (производительность) насоса:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \dots \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

б) идеальную подачу:

$$Q_{\text{ид}} = V_0 \cdot n = (10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3) \cdot \left(\frac{1}{\text{с}}\right) = \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \dots \text{ л/мин};$$

в) объёмный к.п.д насоса

$$\eta_0 = \frac{Q}{Q_{\text{ид}}} = \frac{\dots \cdot \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}}}{\dots \cdot \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}}} = \dots;$$

г) полезную мощность, сообщаемую насосом жидкости:

$$N_{\text{п}} = \Delta P \cdot Q \text{ (Вт)} = (P_{\text{м}} - P_{\text{в}}) \cdot Q \text{ (Вт)};$$

$$N_{\text{п}} = [\dots \text{ МПа} - (- \dots \text{ КПа})] \cdot \dots \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \dots \text{ Вт};$$

д) полную (затраченную) мощность насоса $N = M \cdot \omega$.
 М-крутящий момент на валу насоса, в данной работе не определяется, поэтому рассчитать затраченную мощность невозможно.

Гидравлический к.п.д $\eta_r = 1$ для шестерённых насосов.

е) К.п.д насосной установки :

$$\eta_{\text{ну}} = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{ну}}} = \frac{\text{Вт}}{\text{Вт}} = \dots$$

Таблица 5.1. Данные эксперимента

N, n/n	Давле- ние P_m , МПа	Давле- ние P_v , КПа	Показания счётчика V л	Время t , с	Число оборо- тов вала насоса, n	Показания ваттметра N, кВт
1						
2						
3						

Результаты расчётов занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2. Данные расчётов

N n/n	Давление насоса P, МПа	Производи- тельность насоса Q , м ³ /с.	Полезная мощность насоса N_p , кВт	Объёмный к.д.п. η_o	кпд нас. уста нов ки
1					
2					
3					

Опыт 3. Находим:

а) подачу (производительность) насоса:

Таблица 5.3. Значения измеряемых величин для самостоятельной работы

N п/п	Давление P_m МПа	Давление P_v кПа	Показания счетчика V , литры	Время t , сек	Число оборотое вала насоса n	Показания ваттметра, N , Вт
1	1.5	- 30	10	51	50	1.4
2	2.9	-28	10	57	49	1.8
3	4.6	-26	10	70	50	2.4

г) полезную мощность, сообщаемую насосом жидкости:

$$N_{п} = \Delta P \cdot Q \text{ (Вт)} = (P_m - P_v) \cdot Q \text{ (Вт)};$$

$$N_{п} = [\quad \text{МПа} - (- \quad \text{кПа})] \cdot \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{Вт};$$

д) полную (затраченную) мощность насоса $N = M \cdot \omega$.

M -крутящий момент на валу насоса в данной работе не определяется, поэтому рассчитать затраченную мощность невозможно.

Гидравлический к.п.д $\eta_r = 1$ для шестерённых насосов.

Выводы

Отчёт по лабораторной работе № 6 «Исследование характеристик объемного гидропривода с поступательным движением выходного звена»

Цели работы:

- изучение устройства регулируемого гидропривода с поступательным движением выходного звена (с дроссельным принципом регулирования);
- экспериментальное определение характеристик гидропривода.

Выполнение работы

1. Изучить установку

В работе используется гидроцилиндр ГЦ 63.200 с ходом штока 200 мм, диаметром цилиндра 63 мм и диаметром штока 25 мм.

Полная схема гидравлическая дана на рисунке 5.2. Гидравлическая схема для данной работы составляет часть общей схемы.

2. **Провести измерения** (3-5 опытов). Данные занести в табл.6.1.

Провести расчёты характеристик гидроцилиндра.

Варианты задания для самостоятельной работы даны в таблице 6.2.

Расчёты

Опыт 1. Находим:

а) площадь поршня гидроцилиндра Ц2

$$S_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(\quad \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \quad \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

б) скорость выдвижения штока гидроцилиндра Ц1, используя данные по времени выдвижения штока τ и ходу штока L

$$U_{\text{шт}} = \frac{L}{\tau} = \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

в) полезную мощность на штоке цилиндра Ц1

$$N_{\text{п}} = F \cdot U_{\text{шт}} = \Delta P \cdot S = (P_5 - P_4) \cdot S \cdot U_{\text{шт}};$$

$$N_{\text{п}} = (\quad - \quad) \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \quad \text{ м/с} = \quad \text{ Вт};$$

г) к.п.д гидропривода

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N} = \frac{\text{Вт}}{\text{Вт}} = \quad \cdot 100\% = \quad \%;$$

Таблица 6.1. Данные эксперимента.

N п/п	P1 МПа	P4 МПа	P5 МПа	Время t, сек	Ход штока L м	Показания ваттметра N, Вт
1						
2						
3						

д) расход жидкости:

$$Q_1 = U_{\text{п}} \cdot S_{\text{п}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = \quad \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{\text{л}}{\text{мин}}$$

Полученные данные занести в табл. 6.3.

Опыт 2. Находим:

а) площадь поршня гидроцилиндра Ц2

$$S_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(\quad \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4} = \quad \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

б) скорость выдвигания штока гидроцилиндра Ц1, используя данные по времени выдвигания штока τ и ходу штока L

$$U_{\text{шт}} = \frac{L}{\tau} = \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

в) полезную мощность на штоке цилиндра Ц1

$$N_{\text{п}} = F \cdot U_{\text{шт}} = \Delta P \cdot S = (P_5 - P_4) \cdot S \cdot U_{\text{шт}};$$

$$N_{\text{п}} = (\quad - \quad) \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \quad \text{ м/с} = \quad \text{ Вт};$$

г) к.п.д гидропривода

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N} = \frac{\text{Вт}}{\text{Вт}} = \quad \cdot 100\% = \quad \%;$$

д) расход жидкости:

$$Q_1 = U_{п} \cdot S_{п} = \frac{м}{с} \cdot \quad \cdot 10^{-3} м^2 = \quad \cdot 10^{-6} \frac{м^3}{с} = \quad \frac{л}{мин}.$$

Полученные данные занести в табл. 6.3.

Опыт 3. Находим:

а) площадь поршня гидроцилиндра Ц2

Таблица 6.2. Данные для самостоятельной работы.

N п/п	P1 МПа	P4 МПа	P5 МПа	Время t, сек	Ход штока L м	Показания ваттметра N, вт
1	4,8	0,12	2,0	22	0,1	1700
2	4,9	0,14	2,0	20	0,12	1650
3	5,0	0,11	2,0	17	0,14	1800

Таблица 6.3. Рассчитанные характеристики гидропривода

N, п/п	U _{шт} , м/с	S, 10 ⁻³ м ²	N, вт	η	Q, л/мин
1					
2					
3					

$$S_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(\quad \cdot 10^{-3} м)^2}{4} = \quad \cdot 10^{-3} м^2;$$

б) скорость выдвижения штока гидроцилиндра Ц1, используя данные по времени выдвижения штока τ и ходу штока L

$$U_{шт} = \frac{L}{\tau} = \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

в) полезную мощность на штоке цилиндра Ц1

$$N_{п} = F \cdot U_{шт} = \Delta P \cdot S = (P_5 - P_4) \cdot S \cdot U_{шт};$$

$$N_{п} = (\quad - \quad) \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \quad \text{Вт};$$

г) к.п.д гидропривода

$$\eta = \frac{N_{п}}{N} = \frac{\text{Вт}}{\text{Вт}} = \quad \cdot 100\% = \quad \%;$$

д) расход жидкости:

$$Q_1 = U_{п} \cdot S_{п} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \quad \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = \quad \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

Полученные данные занести в табл. 6.3.

Выводы

Отчёт по лабораторной работе № 7 «Изучение устройства и определение характеристик аксиально-поршневого нерегулируемого гидромотора».

Цели работы:

- изучение устройства аксиально-поршневого нерегулируемого гидромотора;
- изучение основных технических показателей гидромоторов;
- изучение методики и экспериментальное определение характеристик гидромотора.

Выполнение работы

1. Изучить установку.

Стенд для проведения (НТЦ 36.100) и полная гидравлическая схема показаны на рис. 5.1 и 5.2. Гидравлическая

схема установки для снятия характеристик гидромотора составляет часть общей гидравлической схемы стенда.

Рабочие характеристики гидромотора Г15-21Р, используемого в данной работе: рабочий объем $V_{ном} = 11,2$ см³; номинальный расход $Q_{ном} = 10,8$ л/мин; номинальное давление $P_{ном} = 6,3$ МПа; номинальная потребляемая мощность $N_{ном} = 0,96$ кВт; номинальный момент на выходном валу $M_{ном} = 9,4$ н·м; полный к.п.д – 0,87, объемный к.п.д – 0,91.

2. **Провести измерения** (три серии опытов). Данные занести в табл.7.1

Провести расчёты для 3-х серий опытов. Полученные данные занести в таблицу 7.2.

Расчёты.

Опыт 1.

Находим:

а) идеальный (теоретический) расход жидкости через гидромотор

$$Q_{ид} = Q_T = V_0 \cdot n_M = (11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3) \cdot \left(\frac{1}{c}\right) = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{c} = \quad \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

б) Расход жидкости на выходе из гидромотора

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{c} = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{c} = \quad \frac{\text{л}}{\text{мин}}$$

в) давление на гидромоторе:

$$P_M = \Delta P = (P_6 - P_7) = \quad \text{МПа} - \quad \text{МПа} = \quad \text{МПа};$$

г) теоретическую мощность:

$$N_T = \Delta P \cdot Q_{ид} = (P_6 - P_7) \cdot V_0 \cdot n_M;$$

$$N_T = (\quad \text{МПа} - \quad \text{МПа}) \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{c} = \quad \text{вт};$$

д) теоретический вращающий момент на валу гидромотора:

$$M_T = \frac{N_T}{\omega} = Q_{ид} \cdot \frac{\Delta P}{2\pi \cdot n_M} = \Delta P \cdot \frac{V_0}{2\pi}.$$

$$M_T = \quad \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \frac{11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{6,28} = \quad \text{н} \cdot \text{м}$$

Опыт 2. Находим:

а) идеальный (теоретический) расход жидкости через гидромотор:

$$Q_{ид} = Q_T = V_0 \cdot n_M = (11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3) \cdot \left(\frac{1}{с}\right) = \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{с} = \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

б) Расход жидкости на выходе из гидромотора

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{с} = \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{с} = \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

в) давление на гидромоторе:

$$P_M = \Delta P = (P_6 - P_7) = \text{ МПа} - \text{ МПа} = \text{ МПа};$$

г) теоретическую мощность:

$$N_T = \Delta P \cdot Q_{ид} = (P_6 - P_7) \cdot V_0 \cdot n_M;$$

$$N_T = (\text{ МПа} - \text{ МПа}) \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{с} = \text{ Вт};$$

д) теоретический вращающий момент на валу гидромотора:

$$M_T = \frac{N_T}{\omega} = Q_{ид} \cdot \frac{\Delta P}{2\pi \cdot n_M} = \Delta P \cdot \frac{V_0}{2\pi}.$$

$$M_T = \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \frac{11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{6,28} = \text{ н} \cdot \text{м}$$

Таблица 7.1. Данные эксперимента по исследованию характеристик гидромотора

N n/n	Давление P _м , МПа			Объём на выходе гидро- мотора V _м , л	τ, с	Число оборотов вала гидромотора n _м , об/с	Объём утечек, Q _у , л/мин
	P ₆	P ₇	P ₈				
Серия опытов 1, PP1-4/4 (ДР2-4/4;3/4;2/4)							
1							
2							
3							
Серия опытов 2, PP1-3/4 (ДР2-4/4;3/4;2/4)							
4							
5							
6							

Серия опытов 3, PP1-2/4 (ДР2-4/4;3/4;2/4)							
7							
8							
9							

Таблица 7.2. Данные расчётов по исследованию характеристик гидромотора.

N n/n	Q _г , л/мин	Q, л/мин	P _м , МПа	N _г , Вт	M _г , Н м	Объём- ный КПД, η ₀
Серия опытов 1, PP1-4/4 (ДР2-4/4;3/4;2/4)						
1						
2						
3						
Серия опытов 2, PP1-3/4 (ДР2-4/4;3/4;2/4)						
4						
5						
6						
Серия опытов 3, PP1-2/4 (ДР2-4/4;3/4;2/4)						
7						
8						
9						

Опыт 3. Находим:

а) идеальный (теоретический) расход жидкости через гидромотор:

$$Q_{\text{ид}} = Q_{\text{T}} = V_0 \cdot n_{\text{M}} = (11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3) \cdot \left(\frac{1}{\text{с}}\right) = \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

б) Расход жидкости на выходе из гидромотора

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{\text{л}}{\text{мин}}$$

Опыт 5. Находим:

а) идеальный (теоретический) расход жидкости через гидромотор:

$$Q_{\text{ид}} = Q_{\text{T}} = V_0 \cdot n_{\text{M}} = (11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3) \cdot \left(\frac{1}{\text{с}}\right) = \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

б) Расход жидкости на выходе из гидромотора

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{\text{л}}{\text{мин}}$$

в) давление на гидромоторе:

$$P_{\text{M}} = \Delta P = (P_6 - P_7) = \text{МПа} - \text{МПа} = \text{МПа};$$

г) теоретическую мощность:

$$N_{\text{T}} = \Delta P \cdot Q_{\text{ид}} = (P_6 - P_7) \cdot V_0 \cdot n_{\text{M}};$$

$$N_{\text{T}} = (\text{МПа} - \text{МПа}) \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \text{Вт};$$

д) теоретический вращающий момент на валу гидромотора:

$$M_{\text{T}} = \frac{N_{\text{T}}}{\omega} = Q_{\text{ид}} \cdot \frac{\Delta P}{2\pi \cdot n_{\text{M}}} = \Delta P \cdot \frac{V_0}{2\pi}.$$

$$M_{\text{T}} = \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \frac{11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{6,28} = \text{Н} \cdot \text{м}$$

Опыт 6. Находим:

а) идеальный (теоретический) расход жидкости через гидромотор:

$$Q_{\text{ид}} = Q_{\text{T}} = V_0 \cdot n_{\text{M}} = (11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3) \cdot \left(\frac{1}{\text{с}}\right) = \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

б) Расход жидкости на выходе из гидромотора:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{\text{л}}{\text{мин}}$$

в) давление на гидромоторе:

$$P_M = \Delta P = (P_6 - P_7) = \quad \text{МПа} - \quad \text{МПа} = \quad \text{МПа};$$

г) теоретическую мощность:

$$N_T = \Delta P \cdot Q_{\text{ид}} = (P_6 - P_7) \cdot V_0 \cdot n_M;$$

$$N_T = (\quad \text{МПа} - \quad \text{МПа}) \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{Вт};$$

д) теоретический вращающий момент на валу гидромотора:

$$M_T = \frac{N_T}{\omega} = Q_{\text{ид}} \cdot \frac{\Delta P}{2\pi \cdot n_M} = \Delta P \cdot \frac{V_0}{2\pi}.$$

$$M_T = \quad \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \frac{11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{6,28} = \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Опыт 7. Находим:

а) идеальный (теоретический) расход жидкости через гидромотор:

$$Q_{\text{ид}} = Q_T = V_0 \cdot n_M;$$

$$Q_{\text{ид}} = Q_T = (11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3) \cdot \left(\frac{1}{\text{с}}\right) = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

б) Расход жидкости на выходе из гидромотора:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \frac{\text{л}}{\text{мин}}$$

в) давление на гидромоторе:

$$P_M = \Delta P = (P_6 - P_7) = \quad \text{МПа} - \quad \text{МПа} = \quad \text{МПа};$$

г) теоретическую мощность:

$$N_T = \Delta P \cdot Q_{\text{ид}} = (P_6 - P_7) \cdot V_0 \cdot n_M;$$

$$N_T = (\quad \text{МПа} - \quad \text{МПа}) \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{Вт};$$

д) теоретический вращающий момент на валу гидромотора:

$$M_T = \frac{N_T}{\omega} = Q_{\text{ид}} \cdot \frac{\Delta P}{2\pi \cdot n_M} = \Delta P \cdot \frac{V_0}{2\pi}.$$

$$M_T = \quad \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \frac{11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{6,28} = \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Опыт 8. Находим:

а) идеальный (теоретический) расход жидкости через гидромотор:

$$Q_{\text{ид}} = Q_T = V_0 \cdot n_M = (11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3) \cdot \left(\frac{1}{\text{с}}\right) = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

б) Расход жидкости на выходе из гидромотора:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \frac{\text{л}}{\text{мин}}$$

в) давление на гидромоторе:

$$P_M = \Delta P = (P_6 - P_7) = \quad \text{МПа} - \quad \text{МПа} = \quad \text{МПа};$$

г) теоретическую мощность:

$$N_T = \Delta P \cdot Q_{ид} = (P_6 - P_7) \cdot V_0 \cdot n_M;$$

$$N_T = (\quad \text{МПа} - \quad \text{МПа}) \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{Вт};$$

д) теоретический вращающий момент на валу гидромотора:

$$M_T = \frac{N_T}{\omega} = Q_{ид} \cdot \frac{\Delta P}{2\pi \cdot n_M} = \Delta P \cdot \frac{V_0}{2\pi}.$$

$$M_T = \quad \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \frac{11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{6,28} = \quad \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Опыт 9. Находим:

а) идеальный (теоретический) расход жидкости через гидромотор:

$$Q_{ид} = Q_T = V_0 \cdot n_M = (11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3) \cdot \left(\frac{1}{\text{с}}\right) = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \frac{\text{л}}{\text{мин}};$$

Таблица 7.3. Данные по исследованию характеристик гидромотора для самостоятельной работы

N n/n	Давление P _м , МПа			Объём на выхо де гидро мото ра V _м , л	τ, с	Число оборо тов вала гид- ромо тора n _м , об/с	Объём Уте чек, Q _у , л/мин
	P ₆	P ₇	P ₈				
Серия опытов 1, РР1-4/4 (ДР2-4/4;3/4;2/4)							
1	2.2	0.22	0	10	57	17	-
2	4.4	0.09	3.0	5	9	10	-

3							
Серия опытов 2, PP1-3/4 (ДР2-4/4;3/4;2/4)							
4	1.9	0.18	0	5	6	17	-
5	4,5	0.1	2.9	5	3	10	-
6							
Серия опытов 3, PP1-2/4 (ДР2-4/4;3/4;2/4)							
7	1.4	0.06	0	5	6	9	-
8	2.0	0.06	0.6	3	9	9	-
9	3.4	0.6	2.0	3	9	9	

б) Расход жидкости на выходе из гидромотора:

$$Q = \frac{V}{\tau} = \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{с}} = \quad \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{\text{л}}{\text{мин}}$$

в) давление на гидромоторе:

$$P_M = \Delta P = (P_6 - P_7) = \quad \text{МПа} - \quad \text{МПа} = \quad \text{МПа};$$

г) теоретическую мощность:

$$N_T = \Delta P \cdot Q_{\text{ид}} = (P_6 - P_7) \cdot V_0 \cdot n_M;$$

$$N_T = (\quad \text{МПа} - \quad \text{МПа}) \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \quad \text{Вт};$$

д) теоретический вращающий момент на валу гидромотора:

$$M_T = \frac{N_T}{\omega} = Q_{\text{ид}} \cdot \frac{\Delta P}{2\pi \cdot n_M} = \Delta P \cdot \frac{V_0}{2\pi}$$

$$M_T = \quad \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \frac{11,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{6,28} = \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

В случае выполнения работы самостоятельно данные необходимо взять из таблицы 7.3.

Выводы

Лабораторная работа 8. Оценка гидравлического сопротивления цилиндрической гладкой трубы

Цель работы:

– изучение способов определения гидравлического сопротивления цилиндрической гладкой трубы при движении по ней потока воздуха.

Выполнение работы.

1. Изучить установку.

Лабораторный стенд «Газовая динамика» (далее – стенд), предназначен для проведения практических и лабораторных работ, обеспечивающих изучение основных законов движения газовых потоков в каналах различной конфигурации и площади поперечного сечения.

Общий вид стенда представлен на рис. 8.2. (см. описание лабораторных работ)

2. Провести измерения.

Схема исследуемого трубопровода (продувочного модуля) приведена на рис.8.3. Атмосферный воздух, нагнетаемый компрессором, проходит через распределительный модуль и перетекает в продувочную трубу. В сечениях 1, 2 и 3 продувочной трубы расположены приемники полного (P) и статического (P_0) давления воздуха. Регистрация давлений выполняется с использованием жидкостных дифференциальных манометров.

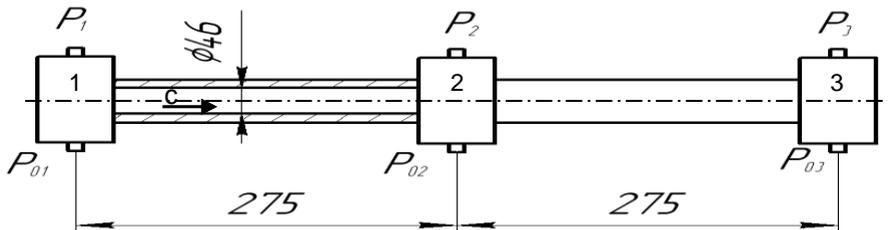


Рисунок 8.3. Схема продувочного модуля (трубы) с тремя сечениями.

Провести две серии измерений. Данные занести в табл.8.1
Провести расчёты для 2-х серий опытов. Полученные данные занести в таблицу 8.2.

Табл.8.2. Данные эксперимента по измерению избыточного давления

№ п/п	$h_{1ст.}$ м	h_1 м	$h_{2ст.}$ м	h_2 м	$h_{3ст.}$ м	h_3 м
1						
2						
№ п/п	$P_{1ст.}$ Па	P_1 Па	$P_{2ст.}$ Па	P_2 Па	$P_{3ст.}$ Па	P_3 Па
1						
2						

Табл. 8.3. Рассчитанные значения скорости движения воздуха в трубе и потерь давления на трение.

№ п/п	u_1 , $\frac{м}{с}$	u_2 , $\frac{м}{с}$	u_3 , $\frac{м}{с}$	Δp_{1-2}	Δp_{2-3}
1					
2					

Табл.8.4. Рассчитанные значения газодинамической функции $\pi(\lambda)$, коэффициента скорости λ и значений скорости u_r на основе таблиц газодинамических функций для воздуха.

№ сеч.	$\pi(\lambda)$	λ	u_r , $\frac{м}{с}$	Re	$\lambda_{тр}$	Q_m , $\frac{кг}{с}$
1						
2						
3						

Расчёты.

Опыт 1.

а) Находим значения статического и полного давлений, используя измеренные значения высот водяного столба в дифференциальном манометре (плотность воды при комнатной температуре 20°C $\rho_{\text{ж}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$):

$$P_{1\text{ст}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_{1\text{ст}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

$$P_1 = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_1 = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

$$P_{2\text{ст}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_{2\text{ст}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

$$P_2 = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_2 = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

$$P_{3\text{ст}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_{3\text{ст}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

$$P_3 = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_3 = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

б) Находим значение скорости движения воздуха в сечениях 1,2,3(ф-ла 8-26):

$$u_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_{1\text{ст}})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (\text{Па})}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}} = \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_2 - P_{2\text{ст}})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (\text{Па})}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}} = \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$u_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_3 - P_{3\text{ст}})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \left(\frac{\text{Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \right)}{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

В) Находим значение газодинамической функции (ф-ла 8-27):

$$\pi_1(\lambda) = \frac{P_{1\text{ст}}^a}{p_1^a} = \frac{\text{КПа}}{\text{КПа}} = 0, \quad .$$

Примечание: для нахождения абсолютных значений давлений необходимо к избыточному давлению прибавить атмосферное давление. В технических расчётах его значение равно 100 КПа.

$$\pi_2(\lambda) = \frac{P_{2\text{ст}}^a}{p_2^a} = \frac{\text{КПа}}{\text{КПа}} = 0, \quad .$$

$$\pi_3(\lambda) = \frac{P_{3\text{ст}}^a}{p_3^a} = \frac{\text{КПа}}{\text{КПа}} = 0, \quad .$$

г) Используя ф-лу (8-14), находим коэффициент скорости λ .

$$\pi(\lambda) = \left(1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \lambda^2\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

$$\text{При } \kappa=1,4 \quad \lambda = \sqrt{\frac{1 - \pi(\lambda)^{0,286}}{0,1667}}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{1 - (0, \quad)^{0,286}}{0,1667}} = \sqrt{0, \quad} = 0, \quad .$$

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{1 - (0, \quad)^{0,286}}{0,1667}} = \sqrt{0, \quad} = 0, \quad .$$

$$\lambda_3 = \sqrt{\frac{1 - (0, \dots)^{0,286}}{0,1667}} = \sqrt{0, \dots} = 0, \dots$$

д) Согласно справочным данным скорость звука в покоем воздухе при 20°C равна $C_0 = 340 \frac{м}{с}$, а при 0°C $C_0 = \frac{м}{с}$. Формула (8-15) позволяет оценить критическую скорость в потоке воздуха:

$$C_{кр} = C_0 \sqrt{\frac{2}{k+1}} = \frac{м}{с} \sqrt{\frac{2}{1,4+1}} = \frac{м}{с}$$

Оценим скорость воздуха, используя значение коэффициента скорости $\lambda = \frac{u}{C_{кр}}$.

$$u_1 = \lambda_1 \cdot C_{кр} = \dots \frac{м}{с} = \frac{м}{с};$$

$$u_2 = \lambda_2 \cdot C_{кр} = \dots \frac{м}{с} = \frac{м}{с};$$

$$u_3 = \lambda_3 \cdot C_{кр} = \dots \frac{м}{с} = \frac{м}{с};$$

Совпадение рассчитанных данных скорости воздуха с помощью газодинамических функций и экспериментальных данных вполне удовлетворительное, что позволяет сделать вывод о адиабатном режиме движения газа.

е) Массовый расход газа по длине трубопровода является величиной неизменной. В общем случае его расчёт является достаточно сложной задачей. В рассматриваемом случае приближённо его можно найти, используя соотношение

$$(8-19): \quad Q_m = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_{cp} \cdot u_{cp}; \quad \rho_{cp} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$u_{cp} = \frac{u_1 + u_2 + u_3}{3}; \quad u_{cp} = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}} + \frac{\text{м}}{\text{с}} + \frac{\text{м}}{\text{с}}}{3} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$Q_m = \frac{3,14 \cdot (0,046 \text{ м})^2}{4} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = 0, \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

ж) Для нахождения потерь давления на трение используем формулы (8-20) - (8-23). Вначале определяем число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot d}{\eta} = \frac{4 \cdot Q_m}{\pi \cdot d \cdot \eta}; \quad \text{Коэффициент динамической вязкости}$$

воздуха при температуре $^{\circ}\text{C}$ $\eta = \quad \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$Re = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 0,046 \text{ м}}{\cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}} = \quad \cdot 10^4 = \quad .$$

Согласно данным гидродинамики, это число Рейнольдса соответствует турбулентному движению газа. Для нахождения коэффициента гидравлического трения газа $\lambda_{тр}$ прежде всего необходимо найти область турбулентного движения, в которой находится данное число Рейнольдса.

Определяем соотношение $\frac{d}{\Delta_э}$. Для стальной трубы (см. табл. в лабораторной работе 4) подбираем значение эквивалентной шероховатости $\Delta_э = 0,1 \text{ мм}$. $\frac{d}{\Delta_э} = \frac{46 \text{ мм}}{0,1 \text{ мм}} = 460$. Следовательно, эта область движения соответствует формуле:

$$10 \frac{d}{\Delta_э} < Re < 560 \frac{d}{\Delta_э} \quad 10 \cdot 460 < \quad < 560 \cdot 460;$$

$4600 < \quad < 257600$. Для этой области расчёт $\lambda_{тр}$ рекомендуется проводить по ф-ле Альтшуля:

$$\lambda_{тр} = 0,11 \left(\frac{\Delta_э}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,1 \text{ мм}}{46 \text{ мм}} + \frac{68}{\quad} \right)^{0,25};$$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \left(\quad \cdot 10^{-4} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot 0, \quad = 0, \quad .$$

Определим потери давления на трение:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda_{\text{тр}} \cdot L}{d} \frac{\rho_{\text{ср}} \cdot u_{\text{ср}}^2}{2}$$

Потери давления на трение по всей длине трубопровода (между сечениями 1-3):

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{0, \quad \cdot 0,55 \text{ м}}{0,046 \text{ м}} \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)^2}{2} = \quad \text{Па}$$

Полученные приближённые данные потерь давления на трение составляют примерно % от первоначального (избыточного) давления, что находится в пределах погрешности эксперимента и расчётов.

Опыт 2.

а) Находим значения статического и полного давлений, используя измеренные значения высот водяного столба в дифференциальном манометре (плотность воды при комнатной температуре 20 °С $\rho_{\text{ж}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$):

$$P_{1\text{ст}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_{1\text{ст}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

$$P_1 = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_1 = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

$$P_{2\text{ст}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_{2\text{ст}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

$$P_2 = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_2 = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

$$P_{3\text{ст}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_{3\text{ст}} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

$$P_3 = \rho_{ж} \cdot g \cdot h_3 = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0, \quad \text{м} = \quad \text{Па}$$

б) Находим значение скорости движения воздуха в сечениях 1,2,3 (ф-ла 8-26):

$$u_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_{1\text{ст}})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \left(\frac{\text{Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \right)}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}} = \sqrt{\cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_2 - P_{2\text{ст}})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \left(\frac{\text{Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \right)}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}} = \sqrt{\cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$u_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_3 - P_{3\text{ст}})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \left(\frac{\text{Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \right)}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}} = \sqrt{\cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

в) Находим значение газодинамической функции (ф-ла 8-27):

$$\pi_1(\lambda) = \frac{P_{1\text{ст}}^a}{p_1^a} = \frac{\text{КПа}}{\text{КПа}} = 0, \quad .$$

Примечание: для нахождения абсолютных значений давлений необходимо к избыточному давлению прибавить атмосферное давление. В технических расчётах его значение равно 100 КПа.

$$\pi_2(\lambda) = \frac{P_{2\text{ст}}^a}{p_2^a} = \frac{\text{КПа}}{\text{КПа}} = 0, \quad .$$

$$\pi_3(\lambda) = \frac{P_{3\text{ст}}^a}{p_3^a} = \frac{\text{КПа}}{\text{КПа}} = 0, \quad .$$

г) Используя ф-лу (8-14), находим коэффициент скорости λ .

$$\pi(\lambda) = \left(1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \lambda^2\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

$$\text{При } \kappa=1,4 \quad \lambda = \sqrt{\frac{1-\pi(\lambda)^{0,286}}{0,1667}}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{1-(0, \quad)^{0,286}}{0,1667}} = \sqrt{0, \quad} = 0, \quad .$$

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{1-(0, \quad)^{0,286}}{0,1667}} = \sqrt{0, \quad} = 0, \quad .$$

$$\lambda_3 = \sqrt{\frac{1-(0, \quad)^{0,286}}{0,1667}} = \sqrt{0, \quad} = 0, \quad .$$

д) Согласно справочным данным скорость звука в покоем воздухе при 20°C равна $C_0=340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а при 0°C $C_0= \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Формула (8-15) позволяет оценить критическую скорость в потоке воздуха:

$$C_{\text{кр}} = C_0 \sqrt{\frac{2}{\kappa+1}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \sqrt{\frac{2}{1,4+1}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Оценим скорость воздуха, используя значение коэффициента скорости $\lambda = \frac{u}{C_{\text{кр}}}$.

$$u_1 = \lambda_1 \cdot C_{\text{кр}} = \quad \cdot \quad \frac{\text{м}}{\text{с}} = \quad \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$u_2 = \lambda_2 \cdot C_{\text{кр}} = \quad \cdot \quad \frac{\text{м}}{\text{с}} = \quad \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$u_3 = \lambda_3 \cdot C_{кр} = \dots \cdot \frac{M}{c} = \frac{M}{c};$$

Совпадение рассчитанных данных скорости воздуха с помощью газодинамических функций и экспериментальных данных вполне удовлетворительное, что позволяет сделать вывод о адиабатном режиме движения газа.

е) Массовый расход газа по длине трубопровода является величиной неизменной. В общем случае его расчёт является достаточно сложной задачей. В рассматриваемом случае приближённо его можно найти, используя соотношение

$$(8-19): \quad Q_m = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_{ср} \cdot u_{ср}; \quad \rho_{ср} = \frac{kg}{M^3};$$

$$u_{ср} = \frac{u_1 + u_2 + u_3}{3}; \quad u_{ср} = \frac{\frac{M}{c} + \frac{M}{c} + \frac{M}{c}}{3} = \frac{M}{c}.$$

$$Q_m = \frac{3,14 \cdot (0,046 \text{ м})^2}{4} \cdot \frac{kg}{M^3} \cdot \frac{M}{c} = 0, \quad \frac{kg}{c}.$$

ж) Для нахождения потерь давления на трение используем формулы (8-20) - (8-23). Вначале определяем число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot d}{\eta} = \frac{4 \cdot Q_m}{\pi \cdot d \cdot \eta}; \quad \text{Коэффициент динамической вязкости}$$

воздуха при температуре $^{\circ}C \quad \eta = \dots \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$

$$Re = \frac{\frac{kg}{M^3} \cdot \frac{M}{c} \cdot 0,046 \text{ м}}{\cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}} = \dots \cdot 10^4 = \dots$$

Согласно данным гидродинамики, это число Рейнольдса соответствует турбулентному движению газа. Для нахождения коэффициента гидравлического трения газа $\lambda_{тр}$ прежде всего необходимо найти область турбулентного движения, в которой находится данное число Рейнольдса. Определяем соотношение $\frac{d}{\Delta_3}$. Для стальной трубы (см. табл. в лабораторной работе 4) подбираем значение эквивалентной шероховатости $\Delta_3 = 0,1 \text{ мм}$. $\frac{d}{\Delta_3} = \frac{46 \text{ мм}}{0,1 \text{ мм}} = 460$.

Следовательно, эта область движения соответствует формуле:

$$10 \frac{d}{\Delta_3} < Re < 560 \frac{d}{\Delta_3} \quad 10 \cdot 460 < \quad < 560 \cdot 460;$$

$4600 < \quad < 257600$. Для этой области расчёт $\lambda_{тр}$ рекомендуется проводить по ф-ле Альтшуля:

$$\lambda_{тр} = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,1 \text{ мм}}{46 \text{ мм}} + \frac{68}{\quad} \right)^{0,25};$$

$$\lambda_{тр} = 0,11 \left(\quad \cdot 10^{-4} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot 0, \quad = 0, \quad .$$

Определим потери давления на трение:

$$\Delta P_{тр} = \frac{\lambda_{тр} \cdot L}{d} \frac{\rho_{ср} \cdot u_{ср}^2}{2}$$

Потери давления на трение по всей длине трубопровода (между сечениями 1-3):

$$\Delta P_{тр} = \frac{0, \quad \cdot 0,55 \text{ м}}{0,046 \text{ м}} \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)^2}{2} = \quad \text{Па}$$

Выводы. Полученные приближённые данные потерь давления на трение составляют примерно \quad % от первоначального (избыточного) давления, что находится в пределах погрешности эксперимента и расчётов.

Лабораторная работа 9. Изучение программируемого микроконтроллера (ПЛК) в составе системы управления пневмоприводом.

Цель работы:

- 1) ознакомление с конструкцией, назначением, возможностями ПЛК семейства ALPHA-2;
- 2) ознакомление с устройствами пневмоавтоматики, установленными на стенде.

Выполнение работы

1. Изучить установку

В работе используется ПЛК Mitsubishi Electric ALPHA-2, подключённый к пневматической схеме.

Общий вид стенда приведен на рис.9.1. Компрессор подаёт сжатый воздух в пневмоцилиндры. Пневмоустановка включает так же фильтр очистки воздуха, пневмораспределители, пневмоклапаны и др. Управляет работой схемы микроконтроллер Альфа-2. В качестве регистрирующей системы используется осциллограф с дисплеем.



Рисунок 9.1. Фото стенда.

Схема пневмоустановки приведена на рис.9.2. На рис.9.3. приведена схема подключения контроллера к пневмоустановке.

1. *Изучить устройство и принцип программирования микроконтроллера, используя «Руководство по программному обеспечению».*
2. *Изучить указания по работе с измерительной системой стенда, используя соответствующую Инструкцию.*

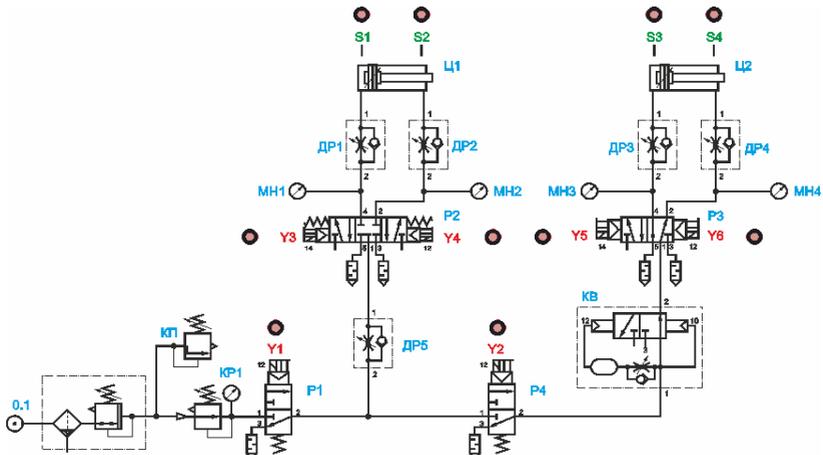


Рисунок 9.2. Схема пневмоустановки.

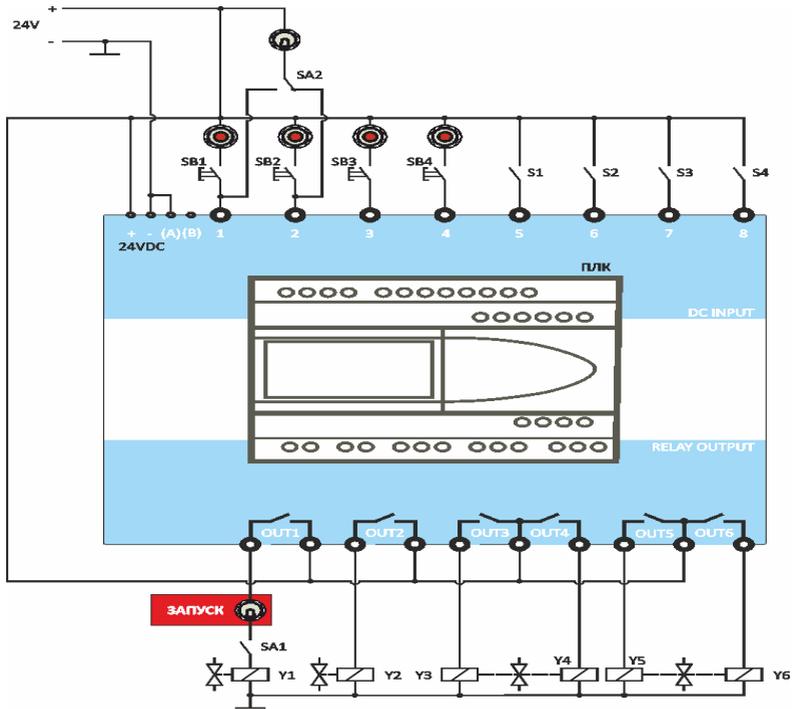


Рисунок 9.3. Схема подключения ПЛК к пневмоустановке.

В отчёте кратко пояснить принципы использования микроконтроллера при изучении пневмосхем.

Лабораторная работа 10. Составление программ для программируемого логического контроллера (ПЛК) Mitsubishi Electric ALPHA-2 с помощью среды программирования AL-PCS/WIN-EU на компьютере. Запись программ в память ПЛК

Цель работы:

- установка и изучение возможностей среды программирования и обмена данными с ПЛК ALPHA-2;
- запись программы в память ПЛК, запуск выполнения;
- получение навыков создания программ в среде программирования Mitsubishi Alpha Programming.

Выполнение работы.

1. Запустить программу **Mitsubishi Alpha Programming**.
2. Открыть имеющийся проект или пример программы (см. рисунок 10.2) для ПЛК Alpha-2 в Mitsubishi Alpha Programming.

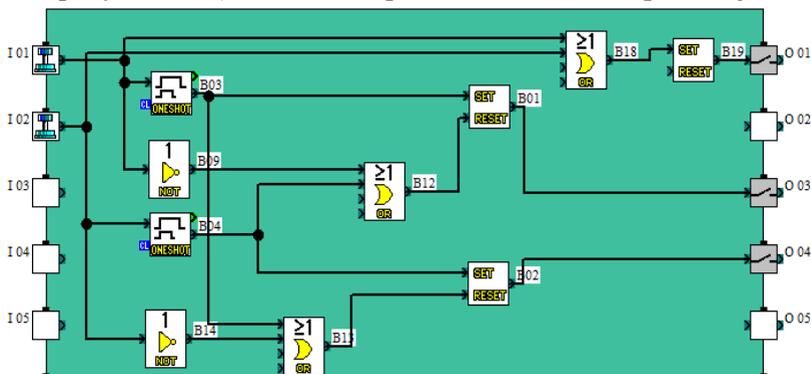


Рисунок 10.2. Область программирования

3. Убедиться, что на панели стенда тумблер SA1 выключен, тумблер SA2 в среднем положении, при необходимости установить их в указанное положение.
4. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»). Запустить моделирование (симуляцию). В окне

программы, изменяя состояние входных каналов (1...8 в зависимости от конкретной программы) зафиксировать смену состояний выходов (out 001...006). См.рис.10.3.

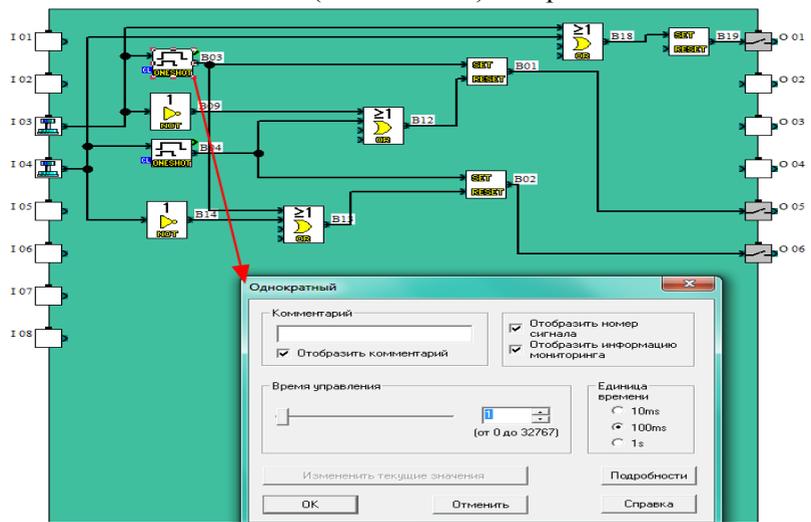


Рисунок 10.3. Изменение параметров программы

5. Произвести остановку («СТОП») контроллера.
6. Записать программу в ПЛК. Запустить контроллер и включить мониторинг.
7. Включить тумблер SA1.
8. Нажать кратковременно кнопку SB1. Проследить за реакцией схемы.
9. Нажать и удерживать поочередно кнопки SB1, SB2. Проследить за реакцией схемы.
10. Установить тумблер SA2 сначала в левое положение, затем в правое. Проследить за реакцией схемы.
11. Выключить тумблер SA1, тумблер SA2 установить в среднее положение.
12. Произвести остановку («СТОП») контроллера.

В отчёте пояснить производимые действия и его результаты, используя логические схемы.

Лабораторная работа 11. Программирование ПЛК на примере простейшего алгоритма движения штока цилиндра

Цель работы:

- отработка навыков создания программ для ПЛК;
- разработка программного обеспечения;
- контроль выполнения программы.

Выполнение работы.

1. Изучить руководства по программной и аппаратной части ПЛК Alpha-2. Ознакомится с составом оборудования ПЛК.
2. Проверить подключение компрессора к электросети и, если требуется, подключить.
3. Соединить компрессор и водной фитинг фильтра, на панели стенда, пневмотрубкой.
4. Закрыть выходной клапан компрессора, регулятор компрессора максимально открыть.
5. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
6. Перевести рычаг управления компрессором в положение «Включено».
7. Дождаться пока давление в ресивере достигнет максимального рабочего значения и компрессор отключиться.
8. Запустить приложение Mitsubishi Alpha Programming на компьютере.
10. Создать новый проект в Mitsubishi Alpha Programming.
11. Убедиться, что на панели стенда тумблер SA1 выключен, тумблер SA2 в среднем положении, при необходимости установить их в указанное положение.
12. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
13. Регуляторы Ф, КР на панели стенда максимально открыть. Регулятор дросселя ДР5 установить в положение 3, дроссели ДР1, ДР2 отрегулировать на 0,5...1.
14. Программа должна выполнять следующие функции:
 - 1) при нажатии кнопки SB1 шток цилиндра Ц1 должен двигаться вверх, пока нажата SB1 (вместо SB1 можно использовать SA2).
 - 2) при нажатии кнопки SB2 шток цилиндра Ц1 должен двигаться вниз, пока нажата SB2 (вместо SB2 можно использовать SA2).

15. Опираясь на описание в пункте 14 создайте программу, которая удовлетворяет поставленной задаче (см. лаб. раб. 10).
16. Записать программу в ПЛК. Запустить функционирование и мониторинг.
17. Открыть выходной вентиль компрессора.
18. Повторить пункты К. и Л, в лаб. раб. 10.
19. Описать принцип действия собранной схемы.
20. Составить алгоритм работы схемы.
21. Разработайте функциональную схему (при необходимости), в которой разделены исполнительная (силовая) часть и сигналы управления.
22. Составить логические уравнения (при необходимости), описывающие схему.
23. Внести в программу такие изменения, чтобы шток цилиндра Ц1 продолжал движение после однократного нажатия на кнопки SB1, SB2 (см. рисунок 10.1).
24. Повторить пункты 18...22.
25. Перевести рычаг управления компрессором в положение «Выключено», закрыть выходной вентиль компрессора.
26. Выключить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
27. Сбросить давление из схемы. Для этого перевести клапан снизу фильтра в положение «Ручной» и вдавить вверх.

В отчёте пояснить производимые действия и результаты, используя логические схемы.

Приложение 1

Обозначения физических величин и их единицы измерения, используемые в пособии при расчётах.

Наименование, обозначение	Единица измерения в системе СИ	Используемая в работе
Модуль 1.		
Давление, P	Паскаль (Па)	кПа= 10^3 Па, МПа= 10^6 Па,

Давление атмосферное, $P_{\text{атм}}$	Па(Паскаль)	100 кПа
Диаметр трубы, d	м (Метр)	мм = 10^{-3} м
Площадь поперечного сечения, S	м^2	$\text{мм}^2 = 10^6 \text{ мм}^2$
Скорость движения жидкости, U	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$
Объём жидкости, V	м^3	л = 10^{-3} м^3
Время прохождения жидкости, t	с	мин = 60 с
Расход жидкости, Q	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 60 \cdot 10^3 \frac{\text{л}}{\text{мин}}$
Плотность жидкости, ρ	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Динамическая вязкость жидкости, η	Па · с	Па · с
Число Рейнольдса, Re	-	-
Напор пьезометрический, $H_{\text{п}} = \frac{P}{\rho \cdot g}$	м	м
Напор геометрический, $H_{\text{г}} = z$	м	м
Напор скоростной, $H_{\text{ск}} = \frac{\alpha \cdot (u)^2}{2 \cdot g}$	м	м
Полный напор, $H = H_{\text{г}} + H_{\text{п}} + H_{\text{ск}}$	м	м
Потери напора линейные между сечениями 1 и 2, $h_{\text{л}1-2}$	м	м
Потери напора местные, $h_{\text{м}}$	м	м
Гидравлический уклон на участке между сечениями 1 и 2,	-	-

$I_{1-2} = \frac{h_{1-2}}{L_{1-2}}$		
Температура Цельсия, t°	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
Коэффициент гидравлического трения (линейных потерь), λ	-	-
Коэффициент местных потерь напора, ϵ_m	-	-
Мощность потока, N	Вт (ватт)	Вт
Модуль 2		
Число оборотов коленвала, ω	$\frac{1}{\text{с}}$	$\frac{1}{\text{мин}} = \frac{1}{60 \text{ с}}$
Мощность, N	Вт	кВт = 10^3 Вт
Подача (производительность, расход), Q	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 6 \cdot 10^4 \frac{\text{л}}{\text{мин}}$
КПД, η		

Приложение 2 Оценка погрешности измерений в лабораторном практикуме. Приближённые вычисления и округления результатов расчётов.

В лабораторных исследованиях следует оценивать погрешность измерения тех или иных величин с учётом погрешности (класса точности) приборов, используемых в данной установке. Теория оценки погрешности измерений в экспериментальных научных исследованиях достаточно сложна и громоздка и в учебном лабораторном практикуме, как правило, не используется.

В первых трёх лабораторных работах измерения проводятся с помощью стенда НТЦ-91. Для измерения давления и температуры используются тензодатчики с электронной системой индикации и термопары. В паспорте стенда нет указаний на погрешности измерений используемых приборов, поэтому оценить погрешность получаемых результатов сложно. В лабораторных работах №№ 3,4 можно только определить расхождение экспериментальных данных со

справочными, что косвенно позволяет оценить относительную погрешность измерения определяемой величины с помощью данной установки. Но число проводимых измерений должно быть не менее 10, чтобы уменьшить влияние случайных факторов.

В паспорте стенда НТЦ-36.100 также нет данных о классе точности приборов, используемых для измерения температуры, давления, объёма жидкости и др. Это не позволяет определить погрешности измерений, но получаемые в эксперименте и расчётах цифры тех или иных физических величин должны быть разумными, т.е. иметь значения, согласующиеся со справочными данными.

Округление рассчитанных величин следует проводить, следуя правилам приближённых вычислений, приведенным ниже.

При произвольных расчётах необходимо пользоваться следующими правилами округления.

I. При сложении и вычитании приближенных чисел в результате следует сохранять столько десятичных знаков, сколько их в приближенном данном с наименьшим числом десятичных знаков.

Пример 1. Найти сумму приближенных чисел 127,42; 67,3; 0,12 и 3,03. Решение: $127,42 + 67,3 + 0,12 + 3,03 = 197,87 = 197,9$. В этом примере в данных число с наименьшим количеством десятичных знаков 67,3 — одна десятичная цифра 3. Следовательно, в ответе также должна остаться одна десятичная цифра. Так как вторая значащая цифра 7 больше 5, округляем ответ с избытком, до 9.

II. При умножении и делении приближенных чисел в произведении надо сохранить столько значащих цифр, сколько их есть в данном числе с наименьшим количеством значащих цифр.

Пример 2. Умножить приближенные числа 3,4 и 12,32.

Решение: $12,32 \cdot 3,4 = 41,888 = 42$.

Здесь в данных число 3,4 имеет наименьшее количество значащих цифр — 2. И в ответе должно быть две значащих цифры. 1,888 округляем с избытком до 2.

Примечание: если данные числа меньше 1, например 0,025, то число значащих цифр считается от последнего 0, т.е. две знача-

щие цифры. Если данные имеют большое число нулей, например $16 \cdot 10^5$, то из значащих цифр берут 2 (число 16).

Пример 3. Площадь прямоугольника приближенно равна 7,6 кв. м, ширина -2,38 м. Чему равна ее длина?

Решение: длина прямоугольника равна частному от деления 7,6 на 2,38. Действие деления выполняют так: $\frac{7,6}{2,38} = 3,19 = 3,2$.

Частное от деления округляется с избытком.

III. При возведении приближенных чисел в степень (квадрат, куб и др.) в результате сохраняется столько значащих цифр, сколько их в основании.

Пример 4. $(2,32)^2 = 5,38 \approx 5,4$; Пример 5. $(0,83)^3 = 0,57178 \approx 0,57$.

IV. В промежуточных результатах следует брать одной цифрой больше, чем рекомендуют предыдущие правила.

V. Если некоторые данные имеют больше десятичных знаков (при действиях первой ступени) или больше значащих цифр (при действиях II и III ступеней), чем другие, то их предварительно следует округлить, сохраняя лишь одну запасную цифру.

VI. Если данные можно брать с произвольной точностью, то для получения результата с k цифрами данные следует брать с таким числом цифр, которое дает согласно правилам (I – IV) $k + 1$ цифр-у в результате.

Пример 6. Найти значение $x = \frac{(a-b) \cdot c}{a+b}$, если $a \approx 9,31$, $b \approx 3,1$, $c \approx 2,33$. Знак \approx в дальнейшем использовать не будем.

Решение:

$$a - b = 9,31 - 3,1 = 6,21; (a - b) \cdot c = 6,21 \cdot 2,33 \approx 14,5;$$

$$a + b = 9,31 + 3,1 = 12,4; x = 14,5 : 12,4 \approx 1,1694 \approx 1,2.$$

Здесь $k = 2$, $k+1=3$. Ответ. $x = 1,2$.

Сформулированные выше правила подсчета цифр имеют вероятностный смысл: они наиболее вероятны, хотя существуют примеры, не удовлетворяющие этим правилам. Поэтому вычисления способом подсчета цифр - самый грубый способ оценки погрешности результатов действий. Однако он очень прост и удобен, а точность таких вычислений вполне достаточна для большинства технических расчетов. Поэтому этот способ широко распространен в вычислительной практике.

Содержание	Стр.
Введение.....	3
Модуль 1. Гидродинамика.....	3
Отчёт по лабораторной работе № 1: «Измерение давления и расхода, определение режима течения жидкости».....	3
Отчёт по лабораторной работе № 2: «Построение напорной и пьезометрической линий трубопровода».....	8
Отчёт по лабораторной работе № 3: «Определение коэффициентов местных гидравлических сопротивлений».....	17
Отчёт по лабораторной работе № 4 «Определение коэффициента гидравлического трения».....	23
Модуль 2. Гидравлические машины. Гидропривод	
Отчёт по лабораторной работе № 5: «Изучение устройства и определение рабочих характеристик шестерённого насоса»	28
Отчёт по лабораторной работе № 6 «Исследование характеристик объемного гидропривода с поступательным движением выходного звена».....	35
Отчёт по лабораторной работе № 7 «Изучение устройства и определение характеристик аксиально-поршневого нерегулируемого гидромотора».....	38
Отчёт по лабораторной работе № 8 «Оценка гидравлического сопротивления цилиндрической гладкой трубы»..	46
Отчёт по лабораторной работе № 9 «Изучение программируемого микроконтроллера (ПЛК) в составе системы управления пневмоприводом».....	56
Отчёт по лабораторной работе № 10 «Составление программ для программируемого логического контроллера (ПЛК) Mitsubishi Electric ALPHA-2 с помощью среды программирования AL-PCS/WIN-EU на компьютере. Запись программ в память».....	59
Отчёт по лабораторной работе № 11 «Программирование ПЛК на примере простейшего алгоритма движения штока цилиндра».....	61

Приложение 1.
Обозначения физических величин и их единицы измерения,
используемые в пособии при расчётах..62

Приложение 2. Оценка погрешности измерений в лабора-
торном практикуме. Приближённые вычисления и округ-
ления результатов расчётов.64

Киреев Борис Николаевич

Основы гидропривода. Гидравлические и пневматические
системы.

Лабораторный практикум.

Отчёты по выполненным работам.

В авторской редакции. Корректурa автора.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Формат 60x84 1/16. Усл. печ.л. 4,25

Тираж 310 экз.

Издательство ЕИ К(П)ФУ в г.Елабуга

423600, РТ, г.Елабуга, ул. Казанская, 89