

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

**ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОД И  
ГИДРО- И ПНЕВМОАВТОМАТИКА**

Рабочая тетрадь для лабораторных работ  
для студентов специальности  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»

ФИО \_\_\_\_\_  
Группа \_\_\_\_\_  
Шифр \_\_\_\_\_  
(№ зачетной книжки)

Витебск  
2023

УДК 621.22+62-82 (075.8)

Составители:

В. И. Ольшанский, А. А. Котов, В. И. Столяренко

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 7 от 04.04.2023.

**Гидро- и пневмопривод и гидро- и пневмоавтоматика** : рабочая тетрадь / В. И. Ольшанский, А. А. Котов, В. И. Столяренко. – Витебск : УО «ВГТУ», 2023. – 49 с.

Тетрадь предназначена для выполнения лабораторных работ по курсу «Гидро- и пневмопривод и гидро- и пневмоавтоматика» студентами специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» дневной и заочной форм обучения с использованием универсального гидравлического стенда НТЦ-11.38 «Гидравлика, гидромашины и гидроприводы».

УДК 621.22+62-82 (075.8)

© УО «ВГТУ», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Лабораторная работа 1. Определение вязкости жидкости.....	5
Лабораторная работа 2. Измерение давления. ....	9
Лабораторная работа 3. Определение режима течения жидкости в трубопроводе .....	16
Лабораторная работа 4. Построение пьезометрической и напорной линий трубопровода .....	19
Лабораторная работа 5. Определение коэффициента сопротивления трения по длине при движении жидкости в трубопроводе .....	24
Лабораторная работа 6. Определение коэффициентов местных гидравлических сопротивлений.....	30
Лабораторная работа 7. Определение формы поверхности равного давления во вращающемся цилиндрическом сосуде.....	35
Лабораторная работа 8. Построение рабочих характеристик центробежного насоса.....	38
Лабораторная работа 9. Построение рабочих характеристик шестеренного насоса.....	43
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	48

## **ВВЕДЕНИЕ**

Тетрадь предназначена для выполнения студентами лабораторных работ с использованием универсального гидравлического стенда НТЦ-11.38 «Гидравлика, гидромашины и гидроприводы», и данных из лабораторного практикума по предмету «Гидро- и пневмопривод и гидро- и пневмоавтоматика» для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» дневной и заочной форм обучения. Рабочая тетрадь состоит из девяти независимых друг от друга работ, имеющих отдельный набор исходных данных. Выбирать исходные данные следует из лабораторного практикума по номеру варианта, назначенному преподавателем. При выполнении работ студент должен аккуратным почерком, разборчиво, ручкой со стержнем синего, фиолетового или черного цвета вписать недостающие данные. Рисунки выполняются на специально отведенных для них местах (аккуратно, карандашом). Не допускается при оформлении рисунков использовать вставку или наклейку ксерокопий и сканированных изображений.

Выполнение лабораторных работ предполагает знание студентами основных теоретических положений курса «Гидро- и пневмопривод и гидро- и пневмоавтоматика», соответствующей терминологии, уравнений и формул. Для лучшего освоения студентами предмета, а также развития самостоятельного инженерного мышления необходимо после обработки экспериментальных данных и оформления отчета по лабораторной работе написать вывод с подробным анализом полученных результатов и степени влияния на них отдельных факторов. К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом действия и правилами безопасной эксплуатации стенда. Для защиты выполненной работы необходимо представить на проверку оформленный отчет и быть готовым дать ответы на контрольные вопросы.

### **Критерии оценки работы студентов**

Правильно выполненная работа, которая оформлена в соответствии с требованиями и представлена на проверку в установленный срок, оценивается в 10 баллов. К снижению оценки могут приводить выявленные при проверке отчета ошибки и неточности, а также следующие факторы:

- сдача задания позже установленного срока – минус 2 балла;
- недостаточно активная работа по выполнению задания в аудитории – минус 1–2 балла;
- ненадлежащее оформление отчета – минус 1–2 балла;
- неверная аргументация или отсутствие вывода – минус 1–2 балла;
- плагиат – минус 5 и более баллов.

## Лабораторная работа 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ

**Цель работы:** опытное определение величины вязкости жидкости при помощи вискозиметра Энглера.

#### Дайте определения

Вязкость это \_\_\_\_\_

Градиент скорости это \_\_\_\_\_

Касательное напряжение это \_\_\_\_\_

Динамический коэффициент вязкости это \_\_\_\_\_

Кинематический коэффициент вязкости это \_\_\_\_\_

Условная вязкость ВУ это \_\_\_\_\_

Динамический коэффициент вязкости измеряется: в системе (СИ) в \_\_\_\_\_; в технической системе единиц (МКГСС) в \_\_\_\_\_; в физической системе единиц (СГС) в \_\_\_\_\_.

Кинематический коэффициент вязкости измеряется в системе СИ и технической системе единиц в \_\_\_\_\_; в физической системе единиц в \_\_\_\_\_.

В отечественной практике условную вязкость измеряют в \_\_\_\_\_, в США в \_\_\_\_\_; в Англии в \_\_\_\_\_; во Франции в \_\_\_\_\_.

Величина вязкости зависит от \_\_\_\_\_.  
Для капельных жидкостей характерно \_\_\_\_\_,  
\_\_\_\_\_ для газов, \_\_\_\_\_.

Что такое вискозиметр? \_\_\_\_\_.

Какие типы вискозиметров вам известны? \_\_\_\_\_

Условная вязкость в градусах Энглера это: \_\_\_\_\_

Методика проведения опытного исследования приведена в методических указаниях к лабораторной работе 1, полученные опытные данные занести в соответствующие графы таблицы 1.1.

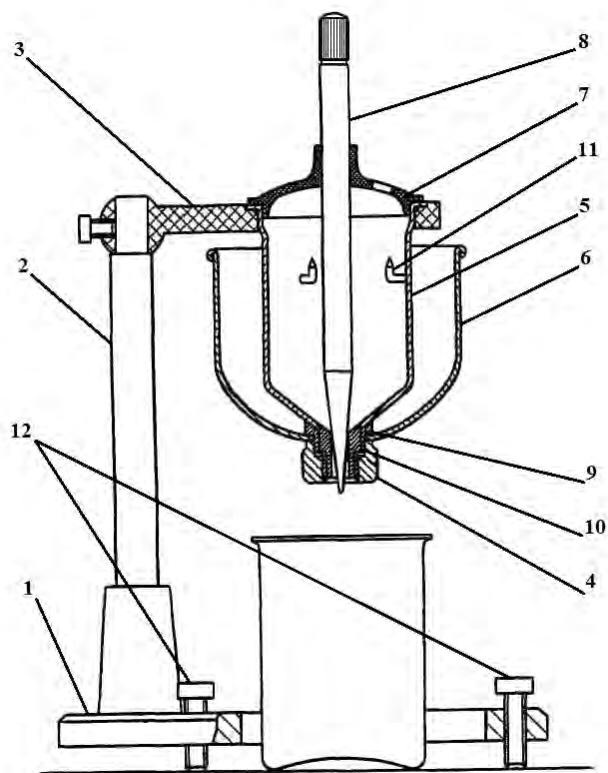


Рисунок 1.1 – Вискозиметр Энглера

Укажите составные части вискозиметра:

- 1 \_\_\_\_\_
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_
- 5 \_\_\_\_\_
- 6 \_\_\_\_\_

- 7 \_\_\_\_\_
- 8 \_\_\_\_\_
- 9 \_\_\_\_\_
- 10 \_\_\_\_\_
- 11 \_\_\_\_\_
- 12 \_\_\_\_\_

По средним значениям, используя формулу (1.1), определить условную вязкость исследуемой жидкости, выраженную в градусах Энглера.

$$BV(^{\circ}E) = \frac{T_{жс}}{T_в}; \quad (1.1)$$

где  $T_{жс}$  – время истечения  $100 \text{ см}^3$  исследуемой жидкости;  $T_в$  – время истечения  $100 \text{ см}^3$  воды.

Переход от условной вязкости в градусах Энглера к кинематическому коэффициенту вязкости производится по эмпирической формуле Убелодде:

$$\nu = 0,0731 \cdot BU(^{\circ}E) - \frac{0,0631}{BU(^{\circ}E)}; \quad (Cm). \quad (1.2)$$

где  $BU(^{\circ}E)$  – вязкость исследуемой жидкости, выраженная в градусах Энглера.

Полученное значение кинематического коэффициента вязкости в Стоксах перевести в единицы системы СИ.

$$1 \text{ Cm} = 1 \text{ cm}^2 / \text{c} = 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{c}.$$

По формуле (1.3) пересчитать динамический коэффициент вязкости  $\mu$  в пуазах

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (1.3)$$

А затем перевести в единицы систем СИ и МКГСС.

$$\begin{aligned} 1 \text{ П} &= 1 \text{ дин} \cdot \text{c} / \text{м}^2 = 1 \text{ г} / \text{см} \cdot \text{c} = 0,1 \text{ Н} \cdot \text{c} / \text{м}^2, \\ 1 \text{ кГ} \cdot \text{c} / \text{м}^2 &= 9,81 \text{ Н} \cdot \text{c} / \text{м}^2. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Значение плотности исследуемой жидкости  $\rho$  определяется по справочным таблицам. Все результаты вычислений заносятся в соответствующие графы таблицы 1.1. Полученные значения необходимо сопоставить со справочными данными.

Таблица 1.1 – Результаты измерений и расчетов

Исследуемая жидкость			
Температура исследуемой жидкости		t	°C
Плотность исследуемой жидкости		ρ	г/см <sup>3</sup>
			кг/м <sup>3</sup>
Среднее время истечения 100 см <sup>3</sup> жидкости		T <sub>ж</sub>	с
		T <sub>в</sub>	с
Вязкость исследуемой жидкости	Условная	БУ	°E
	Кинематическая	ν	Ст
			м <sup>2</sup> /с
	Динамическая	μ	П
			кГ·с/м <sup>2</sup>
		Н·с/м <sup>2</sup>	
По справочнику			





## Лабораторная работа 2

### ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

**Цель работы:** изучение различных приборов для измерения давления и опытное определение величины давления жидкости в трубопроводе.

**Дайте определения:**

Давление  $p$  это – \_\_\_\_\_

---

$$p = \frac{P}{F}; \quad (2.1)$$

В международной системе единиц (СИ) давление измеряется в \_\_\_\_\_. 1 \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_. В технической системе единиц (МКС) давление измеряется в \_\_\_\_\_. 1 \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_. В физической системе единиц (СГС) давление измеряется в \_\_\_\_\_. 1 \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_.

Внесистемные единицы: 1 бар = \_\_\_\_\_ Па = \_\_\_\_\_ МПа;  
техническая атмосфера (ат.) 1 ат. = \_\_\_\_\_ кГ/см<sup>2</sup> = \_\_\_\_\_ кГ/м<sup>2</sup> = \_\_\_\_\_ Па;  
физическая атмосфера (атм.) 1 атм. = \_\_\_\_\_ мм рт. ст. = \_\_\_\_\_ Па;  
psi (фунт силы на квадратный дюйм) 1 psi = \_\_\_\_\_ Па.

Абсолютным давлением называется \_\_\_\_\_

---

Основное уравнение гидростатики:

$$p_{абс.} = p_0 + \gamma \cdot h; \quad (2.2)$$

где  $p_{абс.}$  – \_\_\_\_\_ ;

$p_0$  – \_\_\_\_\_ ;

$\gamma$  – \_\_\_\_\_ ;

$h$  – \_\_\_\_\_ .

Что называется, манометрическим, или избыточным давлением: \_\_\_\_\_

---

---

$$p_m = p_{изб.} = p_{абс.} - p_{атм.} \quad (2.3)$$

Расшифруйте обозначения:  $p_{ата}$  – \_\_\_\_\_

$p_{ату}$  – \_\_\_\_\_

Что называется вакуумметрическим давлением (вакуумом), в каких единицах выражается: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

$$P_{\text{вак.}} = P_{\text{ат.}} - P_{\text{абс.}} \quad (2.4)$$

В открытых сосудах (с атмосферным давлением на свободной поверхности жидкости)

$$P_{\text{изб.}} = \gamma \cdot h. \quad (2.5)$$

Величина давления может быть выражена высотой  $h$  создающего его столба жидкости согласно выражению

$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho \cdot g}. \quad (2.6)$$

где  $\rho$  – \_\_\_\_\_ ;  
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – \_\_\_\_\_ ;  
 $\gamma$  – \_\_\_\_\_ .

Какие приборы используют для измерения избыточного давления? \_\_\_\_\_, вакуума \_\_\_\_\_ перепада давления \_\_\_\_\_

По конструкции они бывают: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Опишите устройство пьезометра (рис. 2.1). \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Опишите устройство чашечного манометра (рис. 2.2). \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Опишите устройство наклонного микроманометра (рис. 2.3), на что влияет угол наклона микроманометра.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

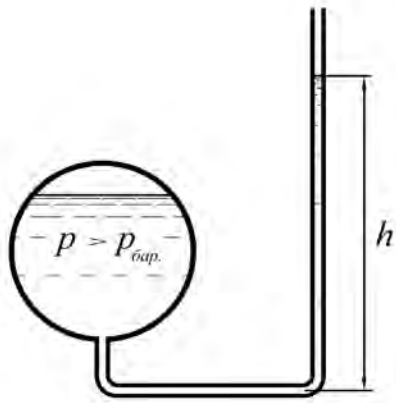


Рисунок 2.1 – Пьезометр

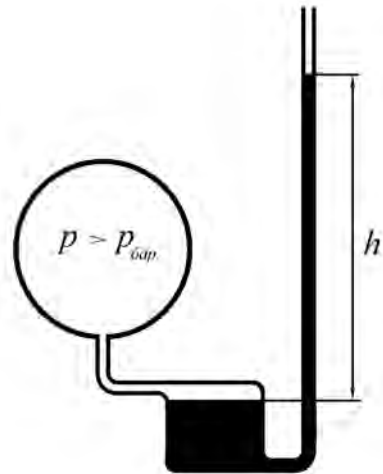


Рисунок 2.2 – Чашечный манометр

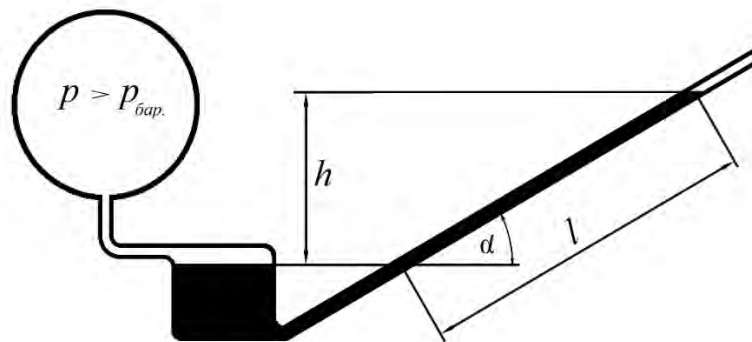


Рисунок 2.3 – Наклонный микроманометр

Опишите устройство вакуумметра (рис. 2.4) \_\_\_\_\_

---



---



---



---

Опишите устройство дифференциального манометра (рис. 2.5) \_\_\_\_\_

---



---



---



---

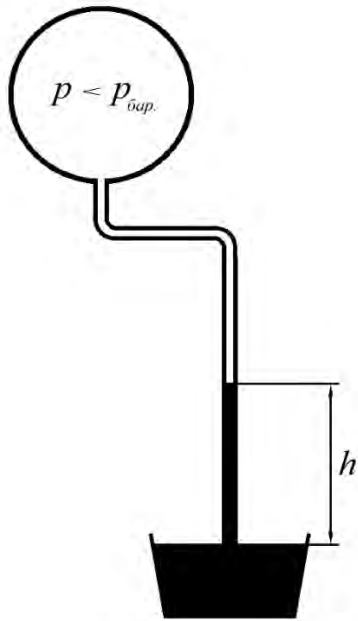


Рисунок 2.4 – Вакуумметр

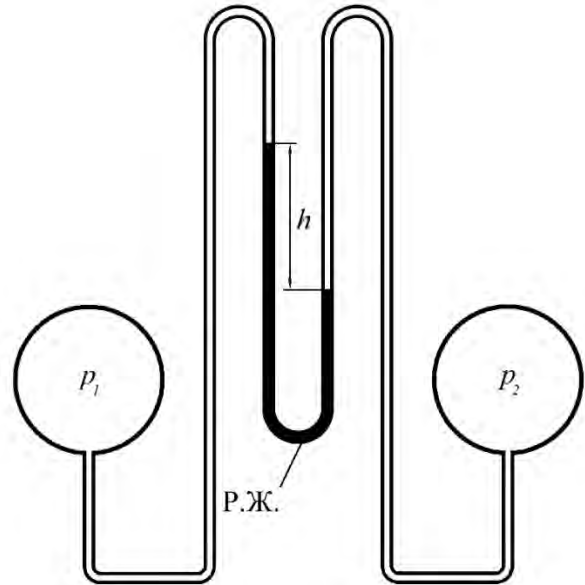


Рисунок 2.5 – Дифференциальный манометр

Какие жидкости применяются в манометрах \_\_\_\_\_

---



---

Разности уровней рабочей жидкости в трубках дифференциального манометра

$$\Delta p = p_2 - p_1 = h \cdot (\gamma_{р.ж.} - \gamma); \quad (2.7)$$

где  $h$  – \_\_\_\_\_ ;

$\gamma_{р.ж.}$  – \_\_\_\_\_ ;

$\gamma$  – \_\_\_\_\_ .

Достоинства и недостатки жидкостных манометров \_\_\_\_\_

---



---



---



---

Опишите устройство трубчатого или пружинного манометра (рис. 2.6) и подпишите его составные части. \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

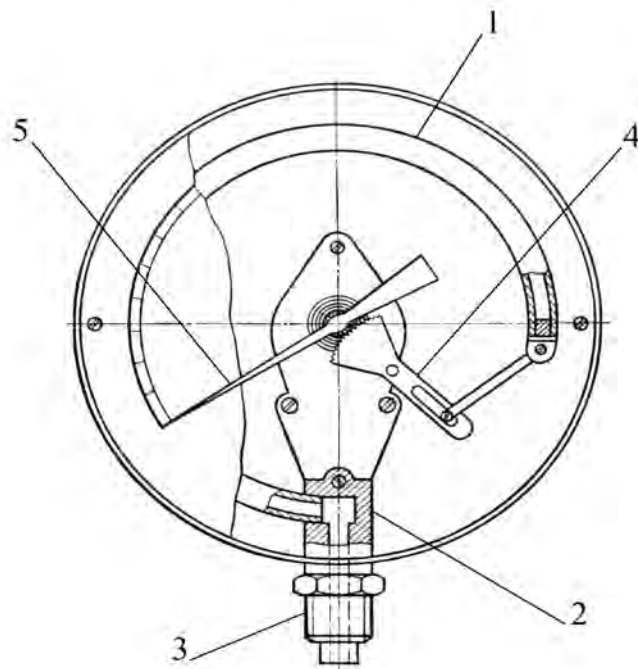


Рисунок 2.6 – Трубчатый манометр

1 \_\_\_\_\_  
2 \_\_\_\_\_  
3 \_\_\_\_\_

4 \_\_\_\_\_  
5 \_\_\_\_\_

Достоинства недостатки и особенности трубчатых манометров

---

---

---

---

---

---

Начертите схему экспериментальной установки, обозначьте составные элементы.

Рисунок 2.7 – Схема экспериментальной установки

1 _____	4 _____
2 _____	5 _____
3 _____	

Методика проведения опытных исследований приведена в методических указаниях к лабораторной работе 2. Полученные опытные данные занести в соответствующие графы таблицы 2.1. Затем полученные значения переводятся из системы СИ в другие единицы ( $\text{кГ}/\text{м}^2$ ,  $\text{дин}/\text{см}^2$ ,  $\text{psi}$ ,  $\text{бар}$ ,  $\text{ат}$ ,  $\text{атм.}$ )

$$1\text{Па} = 1\text{Н} / \text{м}^2 = 1\text{кГ} / \text{м}^2 = 9,81\text{Па}; \quad 1\text{дин} / \text{см}^2 = 0,1\text{Па};$$

$$1\text{бар} = 1 \cdot 10^5 \text{Па} = 0,1\text{МПа}; \quad 1\text{ат} = 1\text{кГ} / \text{см}^2 = 10000\text{кГ} / \text{м}^2 = 98100\text{Па};$$

$$1\text{атм} = 760\text{мм рт. ст.} = 101325\text{Па}; \quad 1\text{psi} = 6894,76\text{Па}.$$

Определить давление в миллиметрах водяного столба и миллиметрах ртутного столба

$$p (\text{мм вод. ст.}) = \frac{p (\text{Па})}{\rho_{\text{в.}} \cdot g} \cdot 1000. \quad (2.8)$$

где  $\rho_{\text{в.}} = 1000\text{ кг}/\text{м}^3$  – плотность воды;  $g = 9,81\text{ м}/\text{с}^2$  – ускорение свободного падения.



### Лабораторная работа 3

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ

**Цель работы:** определение по опытным данным значений чисел Рейнольдса и режимов течения жидкости в трубопроводе круглого сечения.

**Дайте определения:**

Ламинарный режим движения жидкости – это \_\_\_\_\_  
он характерен \_\_\_\_\_

Турбулентный режим – это \_\_\_\_\_  
он характерен \_\_\_\_\_

Ламинарный режим сменяется турбулентным, при \_\_\_\_\_ скорости, а при \_\_\_\_\_ опять переходит в ламинарный.

Критическая скорость верхняя – это \_\_\_\_\_

Критическая скорость нижняя – это \_\_\_\_\_

Число Рейнольдса – это \_\_\_\_\_  
оно зависит от \_\_\_\_\_

Для напорного движения жидкости в круглых трубах число Рейнольдса рассчитывается по формуле

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}; \quad (3.1)$$

где  $v$  – \_\_\_\_\_ ;  
 $d$  – \_\_\_\_\_ ;  
 $\nu$  – \_\_\_\_\_ .

Для труб некруглого сечения и для открытых потоков при расчете числа Рейнольдса вместо диаметра  $d$  вводится гидравлический радиус  $R$



$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad (3.2)$$

где  $\omega$  – \_\_\_\_\_;  
 $\chi$  – \_\_\_\_\_.

Укажите какой режим движения жидкости характерен для следующих значений числа Рейнольдса.

$Re > 10000$  \_\_\_\_\_

$Re < 2320$  \_\_\_\_\_

$2320 < Re < 10000$  \_\_\_\_\_

Методика проведения опытных исследований и исходные данные приведены в методических указаниях к лабораторной работе 3. Начертите схему экспериментальной установки обозначьте составные элементы.

Рисунок 3.1 – Схема экспериментальной установки



Данные опытных исследований заносят в таблицу 3.1. Расход жидкости определяется по формуле

$$Q = \frac{V}{T}. \quad (3.3)$$

Площадь поперечного сечения трубопровода определяется по формуле

$$\omega = \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (3.4)$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубы установки.



## Лабораторная работа 4

### ПОСТРОЕНИЕ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОЙ И НАПОРНОЙ ЛИНИЙ ТРУБОПРОВОДА

**Цель работы:** опытное определение составляющих уравнения Бернулли, а также построение пьезометрической и напорной линий трубопровода.

**Дайте определения:**

Пьезометрическая и напорная линии это \_\_\_\_\_

Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости при установившемся движении:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_n. \quad (4.1)$$

Каждое из слагаемых уравнения Бернулли в гидравлическом смысле представляет собой некоторую высоту или напор (рис. 4.1).

Первое слагаемое уравнения (геометрический напор –  $z$ ) это \_\_\_\_\_

Второе слагаемое уравнения (пьезометрическая высота –  $\frac{\rho}{\gamma}$ ) это \_\_\_\_\_

Третье слагаемое уравнения (скоростная высота  $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ ) это \_\_\_\_\_

где  $v$  – средняя скорость потока в рассматриваемом живом сечении;  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса, учитывающий неравномерность распределения скорости по живому сечению потока. Упрощенно допустимо принимать  $\alpha = 1$ .

Слагаемое  $h_n$  это \_\_\_\_\_

Геометрический смысл уравнения Бернулли

Пьезометрической линией называется – \_\_\_\_\_

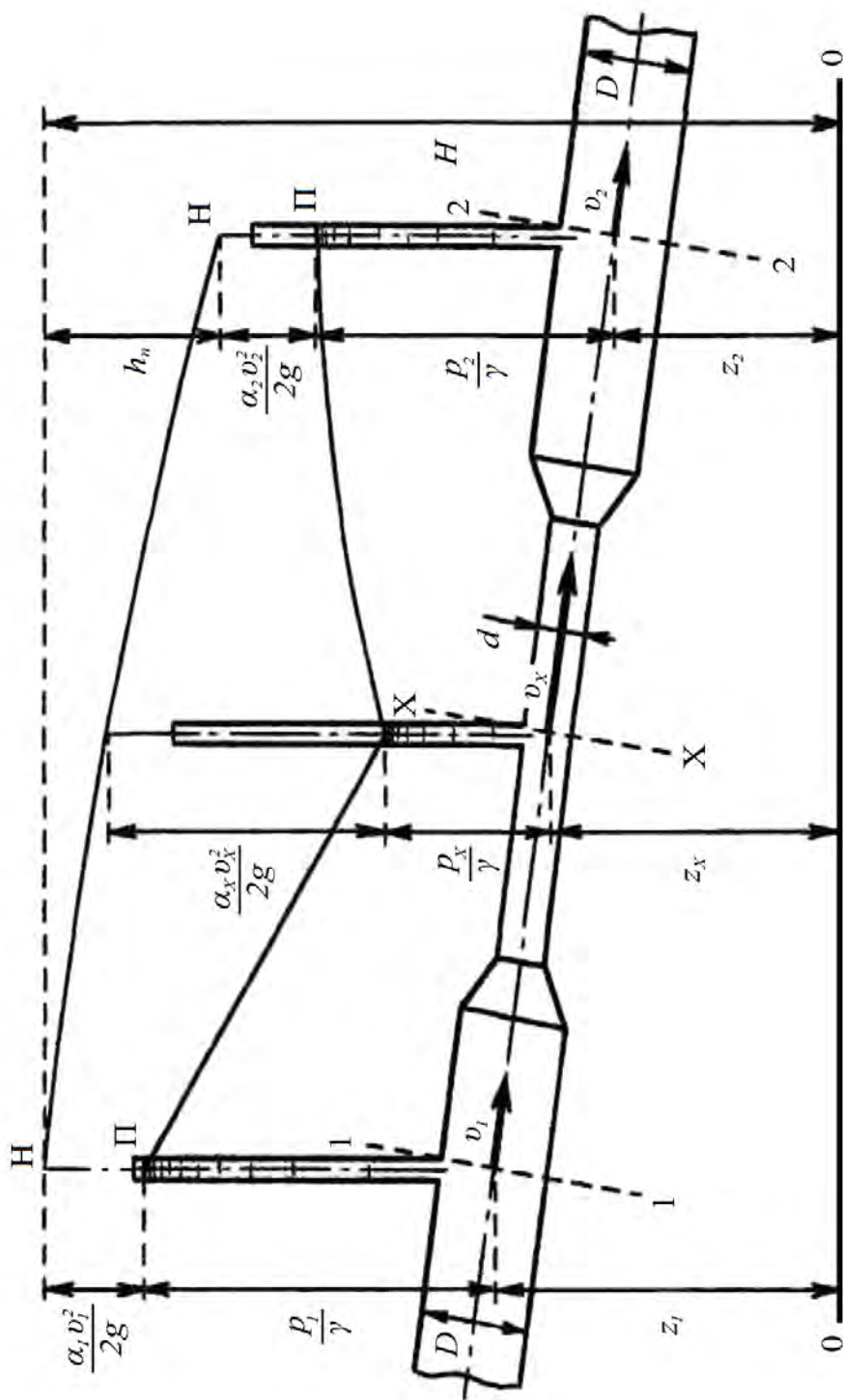


Рисунок 4.1 – Схема построения пьезометрической и напорной линий трубопровода переменного сечения

Пьезометрическим уклоном  $I_n$  называют – \_\_\_\_\_

Пьезометрический уклон может иметь знак + или – ? \_\_\_\_\_.

Напорной линией называют \_\_\_\_\_

Гидродинамический напор это \_\_\_\_\_:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}. \quad (4.2)$$

Гидравлическим уклоном ( $I$ ) называется \_\_\_\_\_

В каком случае  $I = I_n$  \_\_\_\_\_

### Физический смысл уравнения Бернулли

Геометрическая высота \_\_\_\_\_  
пьезометрическая высота \_\_\_\_\_ скоростная  
высота \_\_\_\_\_.

Сумма всех трех составляющих это \_\_\_\_\_

Чем обуславливается уменьшение полной удельной энергии потока  
жидкости на участке \_\_\_\_\_.

Дайте ответ, проанализировав следующее уравнение:

$$E_1 = E_2 + h_n. \quad (4.3)$$

Проанализировав (рис. 4.1) укажите какая из линий является линией  
полной удельной энергии \_\_\_\_\_, а какая линией удельной  
потенциальной энергии \_\_\_\_\_. Что является частным  
выражением всеобщего закона сохранения энергии в природе применительно к  
движению жидкости \_\_\_\_\_.

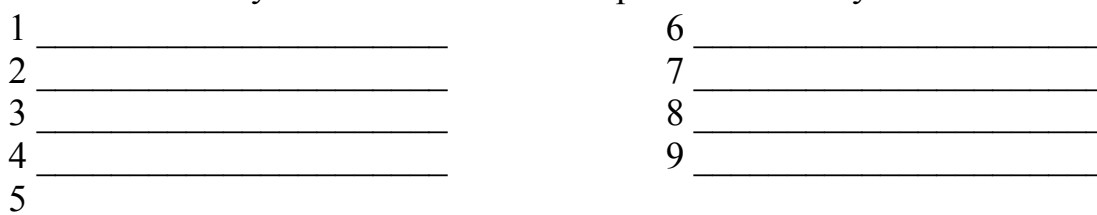
Методика проведения опытных исследований и исходные данные  
приведены в методических указаниях к лабораторной работе 4. Данные  
полученные в результате опытных исследований заносят в таблицу 4.1.  
Площади живых сечений трубопровода, в которых установлены манометры:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (4.4)$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубопровода, м.

Начертите схему экспериментальной установки обозначьте составные элементы.

Рисунок 4.2 – Схема экспериментальной установки



Расход жидкости в трубопроводе

$$Q = \frac{V}{T}. \quad (4.5)$$

Средние скорости течения жидкости во всех рассматриваемых сечениях трубопровода

$$v = \frac{Q}{\omega}. \quad (4.6)$$

Значения удельной потенциальной энергии

$$E_n = z + \frac{p}{\gamma}. \quad (4.7)$$

определяются по показаниям манометров.

Поскольку ось трубопровода расположена горизонтально, плоскость, в которой она лежит, можно принять за плоскость сравнения. Тогда для всех сечений трубопровода геометрическая высота  $z = 0$ . Удельный вес жидкости

$$\gamma = \rho \cdot g. \quad (4.8)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Удельная кинетическая энергия потока

$$E_k = \frac{v^2}{2g} . \quad (4.9)$$

Полная удельная энергия потока в сечениях

$$E = E_n + E_k . \quad (4.10)$$

Потери энергии на участках между рассматриваемыми сечениями (относительно сечения 1) определяются по разности полных удельных энергий в этих сечениях

$$h_n = E_1 - E_i . \quad (4.11)$$

На миллиметровую бумагу нанести схему трубопровода. На схеме отобразить в масштабе найденные по показаниям манометров пьезометрические высоты и провести пьезометрическую линию. Затем по вычисленным значениям удельной кинетической энергии отложить скоростные высоты и провести напорную линию. Все результаты вычислений заносятся в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений и расчетов

Объем жидкости V, м <sup>3</sup>			
Время истечения T, с			
Расход жидкости Q, м <sup>3</sup> /с			
№ сечения	1	2	3
Площадь живого сечения трубопровода ω, м <sup>2</sup>			
Скорость потока жидкости v, м/с			
Давление в трубопроводе p, Па			
Удельная потенциальная энергия E <sub>п</sub> , м			
Удельная кинетическая энергия E <sub>к</sub> , м			
Полная удельная энергия E, м			
Потери энергии (напора) h <sub>п</sub> , м			

## ВЫВОД

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

## Лабораторная работа 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ ПО ДЛИНЕ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ

**Цель работы:** изучение методики экспериментального определения коэффициента сопротивления трения по длине (коэффициента Дарси) при движении жидкости по трубопроводу и сравнение полученных результатов со значениями, вычисленными по некоторым эмпирическим формулам.

#### Дайте определения

Достаточно ли для экспериментального определения потери напора (энергии) по длине потока только показаний пьезометров (манометров), установленных в конечных сечениях этого потока \_\_\_\_\_.

От каких факторов зависит коэффициент Дарси?

---

---

---

Сформулируйте современные воззрения на структуру турбулентного потока \_\_\_\_\_

---

От чего зависит толщина ламинарной пленки? \_\_\_\_\_

---

В чем отличие гидравлически гладких стенок от гидравлически шероховатых? \_\_\_\_\_

---

Перечислите виды зон сопротивления, укажите виды движения и факторы, влияющие на коэффициент сопротивления трения.

---

---

---

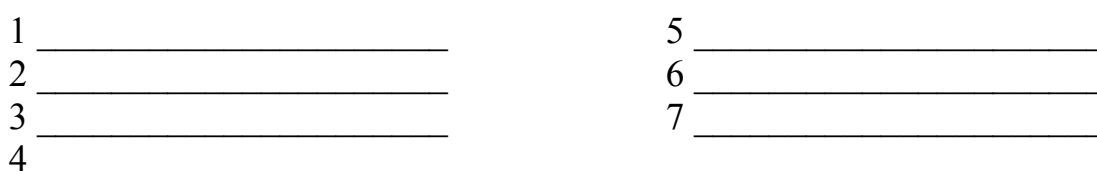
---

---

Начертите схему экспериментальной установки, обозначьте составные элементы.



Рисунок 5.1 – Схема экспериментальной установки



Методика проведения опытных исследований приведена в методических указаниях к лабораторной работе 5, данные опытов заносят в таблицу 5.1. Кинематический коэффициент вязкости жидкости взять из справочной литературы. Расход жидкости  $Q$

$$Q = \frac{V}{T}. \quad (5.1)$$

Площадь поперечного сечения трубопровода

$$\omega = \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (5.2)$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубы установки, м.

Средняя скорость движения воды

$$v = \frac{Q}{\omega}. \quad (5.3)$$

И соответствующее этой скорости значение числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}. \quad (5.4)$$

Потери напора по длине трубопровода

$$h_{\text{дл.}} = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}. \quad (5.5)$$

Удельный вес жидкости  $\gamma$

$$\gamma = \rho \cdot g. \quad (5.6)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Опытное значение коэффициента сопротивления трения по длине

$$\lambda_{оп} = h_{дл} \cdot \frac{d}{L} \cdot \frac{2 \cdot g}{v^2}. \quad (5.7)$$

Все вычисленные значения заносятся в таблицу 5.1

Таблица 5.1 – Опытные значения

№ опыта			1	2	3
Температура жидкости	t	°С			
Кинематический коэффициент вязкости жидкости	$\nu$	$\text{м}^2/\text{с}$			
Объём жидкости	V	$\text{м}^3$			
Время истечения	T	с			
Расход жидкости	Q	$\text{м}^3/\text{с}$			
Средняя скорость	v	м/с			
Число Рейнольдса	Re	–			
Давление жидкости	p <sub>1</sub>	Па			
	p <sub>2</sub>	Па			
Пьезометрические напоры	p <sub>1</sub> /γ	м			
	p <sub>2</sub> /γ	м			
Потеря напора	h <sub>дл.</sub>	м			
Коэффициент сопротивления трения по длине	λ <sub>оп.</sub>	–			

В зависимости от значений числа Рейнольдса, подсчитываются теоретические величины коэффициента Дарси  $\lambda_i$ . Полученные результаты заносятся в таблицу 5.2. Закон Пуазейля применим в первой зоне – зоне вязкого сопротивления границей этой зоны является значение  $Re \approx 2000$

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (5.8)$$

Формула Френкеля Вторая зона – переходная между ламинарным и турбулентным течениями жидкости (в пределах значений Re от 2000 до 4000)

$$\lambda = \frac{2,7}{Re^{0,53}}. \quad (5.9)$$

Третья зона – зона гладкостенного сопротивления. При  $Re < 10^5$  для труб круглого сечения рекомендуется использовать формулу Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}. \quad (5.10)$$

При  $Re > 10^5$  более точной является формула Конакова

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,52)^2}. \quad (5.11)$$

Либо формула Филоненко

$$\lambda = \left( \frac{0,55}{\lg\left(\frac{Re}{8}\right)} \right)^2. \quad (5.12)$$

При  $2,3 \cdot 10^3 < Re < 8 \cdot 10^5$  можно также применять формулу ВТИ

$$\lambda = \frac{1,01}{(\lg Re)^{2,5}}. \quad (5.13)$$

Верхней границей третьей зоны является значение  $Re = 27 \cdot \left(\frac{d}{\Delta}\right)^{\frac{8}{7}}$ .

Четвертая зона – зона доквадратичного сопротивления. Для старых стальных и чугунных труб круглого сечения  $\lambda$  можно определять по формуле Шевелева (ВОДГЕО)

$$\lambda = \left( \frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{d^{0,3}} + \frac{1}{Re} \right)^{0,3}. \quad (5.14)$$

Формула применима при  $\frac{v}{\nu} < 9,2 \cdot 10^5$ .

При  $2300 < Re < 218 \cdot \left(\frac{d}{\Delta}\right)$  можно воспользоваться формулой Альтшуля

$$\lambda = 0,1 \cdot \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25}. \quad (5.15)$$

где  $\Delta = 0,0000015$  м.

Пятая зона – зона квадратичного сопротивления. Нижней границей пятой зоны является значение  $Re = 560 / (\Delta / d)$ . Для шероховатых труб в зоне квадратичного сопротивления формула для определения коэффициента сопротивления трения по длине имеет вид

$$\lambda = \frac{1}{\left( a \lg \frac{AR}{\Delta} \right)^2}. \quad (5.16)$$

где  $a = 2$  и  $A = 14,8$  числовые значения постоянных  $a$  и  $A$  в определённые экспериментальным путем для искусственной равнозернистой шероховатости.

Формула Павловского

$$C = \frac{1}{n} R^y. \quad (5.17)$$

где  $n = 0,011$  – коэффициент шероховатости труб;  $R$  – гидравлический радиус;  $y$  – показатель степени, зависящий от  $n$  и  $R$ , находится по формуле

$$\text{при } R < 1 \text{ м, } y \approx 1,5\sqrt{n}, \quad \text{при } R > 1 \text{ м, } y \approx 1,3\sqrt{n}. \quad (5.18)$$

Формула Агроскина

$$C = \frac{1}{n} + 4 \cdot \sqrt{2g} \cdot \lg R. \quad (5.19)$$

где  $n = 0,011$  – коэффициент шероховатости труб;  $R$  – гидравлический радиус;

Величина коэффициента Дарси

$$\lambda = \frac{8 \cdot g}{C^2}. \quad (5.20)$$

Сравнивая вычисленные по эмпирическим формулам коэффициенты  $\lambda_i$  с найденными опытным путем значениями  $\lambda_{оп}$ , можно определить относительную погрешность вычислений

$$\varepsilon_i = \frac{|\lambda_{оп} - \lambda_i|}{\lambda_{оп}} \cdot 100\%. \quad (5.21)$$



## Лабораторная работа 6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

**Цель работы:** изучение видов местных гидравлических сопротивлений и причин потерь энергии в них, опытное определение коэффициента местного гидравлического сопротивления гидродресселя.

#### Дайте определения

Что такое местные сопротивления в чем их особенность? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Что происходит при прохождении жидкости через местные сопротивления?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

В чем выражается местная потеря напора? \_\_\_\_\_

В каких случаях скорость потока перед местным сопротивлением и после него различна? \_\_\_\_\_

Формула для подсчета местных потерь напора в данном случае имеет вид

$$h_{\text{мест.}} = \zeta'_{\text{мест.}} \cdot \frac{v_1^2}{2g} = \zeta_{\text{мест.}} \cdot \frac{v_2^2}{2g}. \quad (6.1)$$

где  $\zeta'_{\text{мест.}}$  и  $\zeta_{\text{мест.}}$  – \_\_\_\_\_ ;

$v_1$  – \_\_\_\_\_ ;

$v_2$  – \_\_\_\_\_ .

Факторы, от которых зависит  $\zeta_{\text{мест}}$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

От чего зависит коэффициент местного сопротивления при ламинарном движении? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

От чего зависит коэффициент местного сопротивления в турбулентном потоке? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Дроссель предназначен \_\_\_\_\_

Основной характеристикой дросселя является \_\_\_\_\_

Принцип работы линейного дросселя \_\_\_\_\_

Принцип работы нелинейного дросселя \_\_\_\_\_

Квадратичный дроссель это \_\_\_\_\_

В чем преимущество квадратичных дросселей? \_\_\_\_\_

Расход рабочей жидкости через квадратичный дроссель

$$Q = \mu \omega_0 \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta p}{\gamma}}. \quad (6.2)$$

где  $\omega_0$  – \_\_\_\_\_;

$\mu$  – \_\_\_\_\_.

Коэффициент расхода  $\mu$  и коэффициент местного сопротивления  $\zeta_{\text{мест.}}$  связаны между собой соотношением

$$\mu = \varepsilon \sqrt{\frac{1}{\alpha + \zeta_{\text{мест.}}}}. \quad (6.3)$$

где  $\varepsilon$  – \_\_\_\_\_  
(для цилиндрического трубопровода  $\varepsilon = 1$ );

$\alpha$  – \_\_\_\_\_.

Методика проведения опытных исследований приведена в методических указаниях к лабораторной работе 6. После проведения всех опытов данные заносят в таблицу 6.1. Начертите схему экспериментальной установки, обозначьте составные элементы.

Рисунок 6.1 – Схема экспериментальной установки



Площади поперечного сечения трубопровода и отверстия дросселя

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (6.4)$$

Расход жидкости в трубопроводе

$$Q = \frac{V}{T}. \quad (6.5)$$

Средние скорости движения масла

$$v = \frac{Q}{\omega}. \quad (6.6)$$

Поскольку в данном случае ось трубопровода находится в плоскости сравнения ( $z = 0$ ), то значения удельной потенциальной энергии в сечениях определяются непосредственно по показаниям манометров

$$E_n = \frac{p}{\gamma}. \quad (6.7)$$



Удельный вес жидкости  $\gamma$

$$\gamma = \rho \cdot g ; \quad (6.8)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Удельная кинетическая энергия потока в сечениях

$$E_k = \frac{v^2}{2g} . \quad (6.9)$$

Полная удельная энергия потока

$$E = E_n + E_k . \quad (6.10)$$

Потери напора в местном сопротивлении

$$h_{\text{мест.}} = E_1 - E_2 . \quad (6.11)$$

Опытные значения коэффициента местного сопротивления

$$\zeta_{\text{мест.}} = h_{\text{мест.}} \cdot \frac{2g}{v_2^2} . \quad (6.12)$$

Найденные значения  $\zeta_{\text{мест.}}$  сопоставить со справочными данными.  
Значения коэффициента расхода гидравлического дросселя

$$\mu = \frac{Q}{\omega_0} \sqrt{\frac{\gamma}{2g \cdot \Delta p}} . \quad (6.13)$$

где  $\Delta p$  – разность давлений в трубопроводе перед дросселем и после него.

Все результаты расчетов заносятся в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты измерений и расчетов

№ опыта			1	2	3
Объем жидкости	V	м <sup>3</sup>			
Время истечения	T	с			
Расход жидкости	Q	м <sup>3</sup> /с			



## Лабораторная работа 7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ РАВНОГО ДАВЛЕНИЯ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СОСУДЕ

**Цель работы:** определение формы свободной поверхности жидкости в цилиндрическом сосуде, вращающемся вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью, путём сопоставления результатов измерений с теоретическими расчётами.

#### Дайте определения

Что такое состояние относительного покоя жидкости? \_\_\_\_\_

Что такое форма поверхности равного давления? \_\_\_\_\_

Какие силы действуют на частицу жидкости в случае относительного покоя жидкости в цилиндрическом сосуде, вращающемся вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью? \_\_\_\_\_

Проанализируйте уравнение параболоида вращения для точки (М), подпишите обозначения переменных

$$z = \frac{\omega^2}{2g}(x^2 + y^2) = \frac{\omega^2 r^2}{2g}. \quad (7.1)$$

где  $x$  и  $y$  – \_\_\_\_\_ ;

$\omega$  – \_\_\_\_\_ ;

$r$  – \_\_\_\_\_ ;

$g$  – \_\_\_\_\_ .

Зависит ли форма параболоида вращения от рода налитой в сосуд жидкости? \_\_\_\_\_

Сечение параболоида вращения вертикальной плоскостью даёт параболу, а в горизонтальной плоскости даёт \_\_\_\_\_ .

Экспериментальная установка состоит из прозрачного цилиндрического сосуда радиусом  $R$ , в который заливается жидкость. Сосуд вращается вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью. Над сосудом установлена мерная игла, которая может передвигаться в вертикальном и горизонтальном направлениях. Нулевое деление шкалы абсцисс, нанесённой на подставке, соответствует положению мерной иглы по оси вращения сосуда. Мерной иглой определяются координаты отдельных точек свободной поверхности

вращающейся жидкости в меридиональном сечении. Момент касания иглы свободной поверхности жидкости фиксируется визуально. Определение частоты вращения сосуда осуществляется при помощи тахометра. Начертите схему экспериментальной установки обозначьте составные элементы.

Рисунок 7.1 – Экспериментальная установка

1 – _____	4 – _____
2 – _____	5 – _____
3 – _____	6 – _____

Методика проведения опытных исследований приведена в методических указаниях к лабораторной работе 7.

По измеренной частоте  $n$  подсчитывают угловую скорость вращения сосуда

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (7.2)$$

Теоретические значения ординат кривой свободной поверхности жидкости

$$z_{теор.} = \frac{\omega^2 r^2}{2g} \quad (7.3)$$

где  $r$  – радиус вращения точки  $M$ .



**Лабораторная работа 8**  
**ПОСТРОЕНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК**  
**ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА**

**Цель работы:** построение на основании экспериментальных данных рабочих характеристик центробежного насоса при постоянном числе оборотов приводного вала.

**Дайте определения**

Гидравлическими машинами называются \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Сформулируйте принцип работы динамических гидравлических машин.

\_\_\_\_\_

Сформулируйте принцип работы объемных гидравлических машин.

\_\_\_\_\_

Насос – это \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Центробежный насос – это \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

На рисунке 8.1 показана конструктивная схема одноступенчатого центробежного насоса, опишите его работу. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Подпишите названия составных элементов.

Что называется рабочими характеристиками центробежного насоса?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

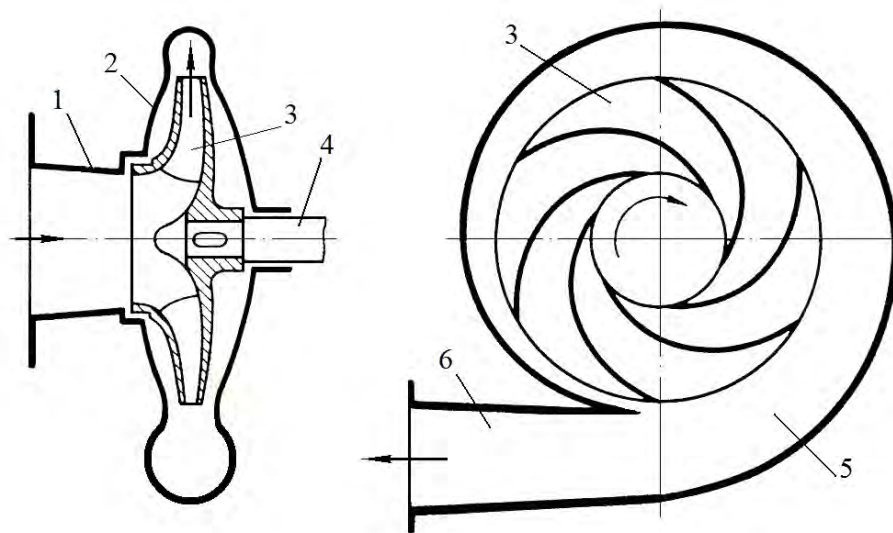


Рисунок 8.1 – Центробежный насос

- 1 – \_\_\_\_\_ ; 4 – \_\_\_\_\_ ;  
 2 – \_\_\_\_\_ ; 5 – \_\_\_\_\_ ;  
 3 – \_\_\_\_\_ ; 6 – \_\_\_\_\_ .

Производительностью (подачей) насоса  $Q$  называется \_\_\_\_\_

Напором  $H$  называется \_\_\_\_\_

Напор измеряется \_\_\_\_\_

Величина напора

$$H = E_{нз} - E_{вс} = h_{ман.} - h_{вак.} + z_0 + \frac{v_{нз}^2 - v_{вс}^2}{2g}; \quad (8.1)$$

где  $E_{нз}$  и  $E_{вс}$  – \_\_\_\_\_ ;

$h_{вак.}$  – \_\_\_\_\_ ;

$h_{ман.}$  – \_\_\_\_\_ ;

$z_0$  – \_\_\_\_\_ ;

$v_{нз}$  и  $v_{вс}$  – \_\_\_\_\_ .

Упрощенная форма

$$H = h_{ман.} - h_{вак.} \quad (8.2)$$

Полезной мощностью  $N_n$  называется \_\_\_\_\_

$$N_n = \gamma \cdot Q \cdot H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H ; \quad (8.3)$$

где Q – \_\_\_\_\_ ;  
 Н – \_\_\_\_\_ ;  
 γ – \_\_\_\_\_ ;  
 ρ – \_\_\_\_\_ ;  
 g – \_\_\_\_\_ .

Потребляемой мощностью насоса N называется \_\_\_\_\_

Полезной (гидравлической) мощностью Nп называется \_\_\_\_\_

Мощность на валу может быть определена по формуле

$$N = N_{эл.} \cdot \eta_{дв.} \cdot \eta_{пер.} \quad (8.4)$$

где  $N_{эл.}$  – \_\_\_\_\_ ;  
 $\eta_{дв.} = 0,96 \div 0,98$  – \_\_\_\_\_ ;  
 $\eta_{пер.}$  \_\_\_\_\_ .

Полный коэффициент полезного действия насоса η

$$\eta = \frac{N_n}{N} \quad (8.5)$$

Для чего используются следующие формулы подобия? \_\_\_\_\_

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1} ; \frac{H}{H_1} = \left( \frac{n}{n_1} \right)^2 ; \frac{N}{N_1} = \left( \frac{n}{n_1} \right)^3 \quad (8.6)$$

Используемая при выполнении работы экспериментальная установка представляет собой центробежный насос, который через всасывающий трубопровод забирает воду из расходного и по напорному трубопроводу подает ее в приемный бак (диаметры всасывающего и напорного трубопроводов одинаковы). На стенке приемного бака нанесены деления, служащие для определения объема поступившей в него воды. Расстояние между соседними делениями соответствует 5 л (0,005 м<sup>3</sup>). Насос через упругую муфту соединен с приводящим его вал во вращение электродвигателем. Мощность, потребляемая электродвигателем, измеряется при помощи трехфазного ваттметра. Расход жидкости в напорном трубопроводе может регулироваться при помощи регулирующего вентиля. Установленный на напорном трубопроводе пьезометр служит для измерения создаваемого насосом напора.



Начертите схему экспериментальной установки обозначьте составные элементы.

Рисунок 8.2 – Экспериментальная установка

1 – _____	7 – _____
2 – _____	8 – _____
3 – _____	9 – _____
4 – _____	10 – _____
5 – _____	11 – _____
6 – _____	12 – _____

Методика проведения опытных исследований приведена в методических указаниях к лабораторной работе 8 Все полученные данные заносятся в таблицу 8.1. Расход жидкости (производительность насоса)  $Q$

$$Q = \frac{V}{T}. \quad (8.7)$$

Напор  $H$ , создаваемый насосом, определяется непосредственно по показаниям пьезометра. Полезная мощность насоса  $N_n$  рассчитывается согласно формуле (8.3).

Потребляемая насосом мощность  $N$  определяется в соответствии с формулой

$$N = 0,97 \cdot N_{эл}. \quad (8.8)$$

Полный коэффициент полезного действия насоса  $\eta$  подсчитывается по формуле (8.5). Все результаты вычислений заносятся в таблицу 8,1.



## Лабораторная работа 9

### ПОСТРОЕНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА

**Цель работы:** построение на основании экспериментальных данных рабочих характеристик шестеренного насоса при постоянном числе оборотов приводного вала.

#### Дайте определения

По принципу действия гидравлические машины делятся на \_\_\_\_\_

Роторный насос – это \_\_\_\_\_

Роторный насос состоит из \_\_\_\_\_

Рабочий цикл роторного насоса состоит из \_\_\_\_\_

Шестеренный насос – это \_\_\_\_\_

На рисунке 9.1 показана конструктивная схема шестеренного насоса подпишите его элементы: 1 – \_\_\_\_\_ ;  
2 – \_\_\_\_\_ ; 3 – \_\_\_\_\_ ;  
4 – \_\_\_\_\_ ; 5 – \_\_\_\_\_

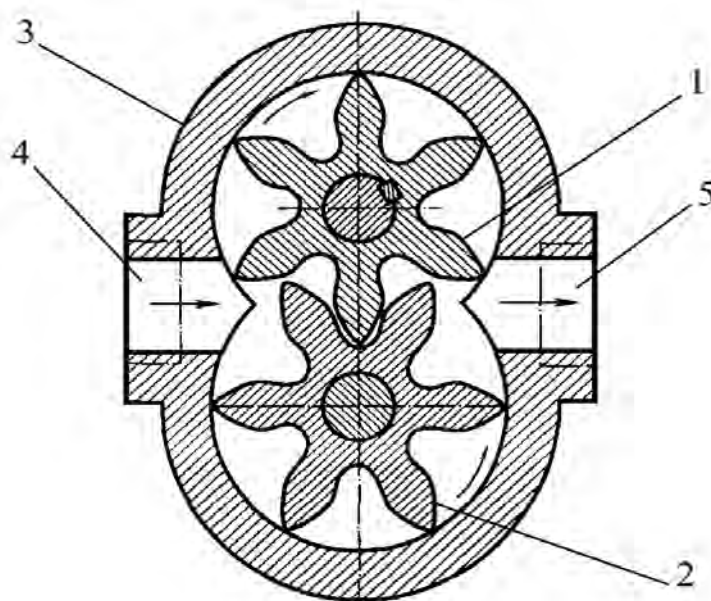


Рисунок 9.1 – Шестеренный насос

Опишите принцип работы данного насоса \_\_\_\_\_

---

---

---

Рабочими характеристиками данного насоса являются \_\_\_\_\_

---

---

---

Пример общего вида рабочих характеристик шестеренного насоса приведен на рисунке 9.2.

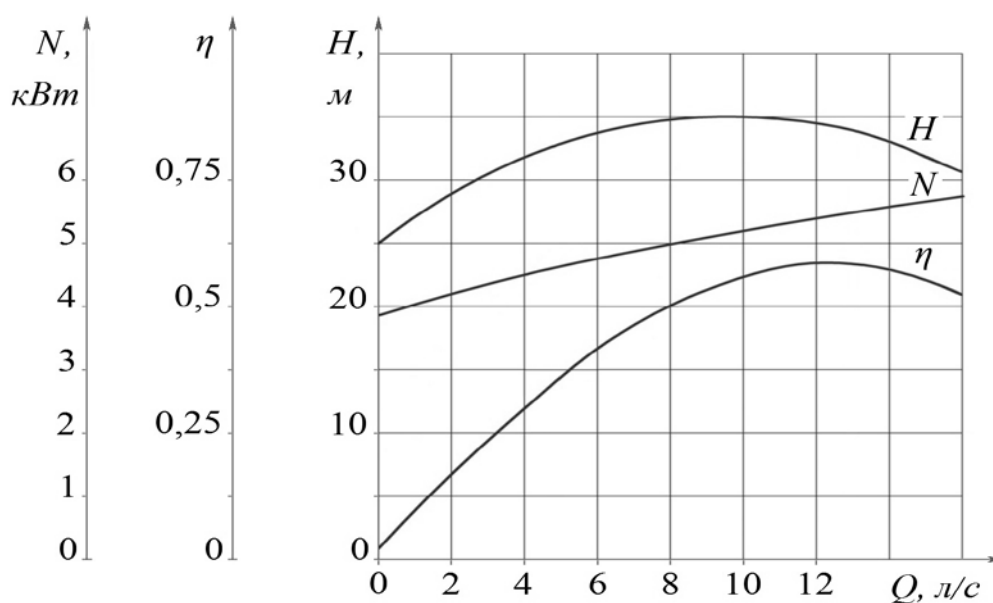


Рисунок 9.2 – Рабочие характеристики насоса

Производительностью (подачей) насоса Q называется \_\_\_\_\_

---

---

---

Под напором H следует понимать \_\_\_\_\_

---

---

---

Напор измеряется \_\_\_\_\_

## Величина напора

$$H = E_{нз} - E_{вс} = h_{ман.} - h_{вак.} + z_0 + \frac{v_{нз}^2 - v_{вс}^2}{2g}, \quad (9.1)$$

где  $E_{нз}$  и  $E_{вс}$  — \_\_\_\_\_ ;  
 $h_{вак.}$  — \_\_\_\_\_ ;  
 $h_{ман.}$  — \_\_\_\_\_ ;  
 $z_0$  — \_\_\_\_\_ ;  
 $v_{нз}$  и  $v_{вс}$  — \_\_\_\_\_ .

Если диаметры всасывающего и нагнетательного патрубков одинаковы ( $d_{вс} = d_{нз}$ ) или скоростные напоры во всасывающем и нагнетательном трубопроводах малы по сравнению с напором  $H$ , развиваемым насосом, то последним слагаемым в уравнении (9.1) можно пренебречь. Также можно пренебречь и величиной  $z_0$ , если это расстояние незначительно, а давление в нагнетательном трубопроводе велико. Тогда уравнение (9.1) примет вид

$$H = h_{ман.} - h_{вак.} \quad (9.2)$$

Полезной мощностью  $N_n$  называют \_\_\_\_\_

$$N_n = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000}, (\text{кВт}) \quad (9.3)$$

где  $Q$  — \_\_\_\_\_ ;  
 $H$  — \_\_\_\_\_ ;  
 $\gamma$  — \_\_\_\_\_ ;  
 $\rho$  — \_\_\_\_\_ ;  
 $g$  — \_\_\_\_\_ .

На что затрачивается потребляемая мощность насоса? \_\_\_\_\_

Мощность на валу (потребляемая насосом мощность) в случае привода от электродвигателя может быть определена по формуле

$$N = N_{эл.} \cdot \eta_{дв.} \cdot \eta_{пер.}, \quad (9.4)$$

где  $N_{эл.}$  — \_\_\_\_\_ ;  
 $\eta_{дв.} = 0,96 \div 0,98$  — \_\_\_\_\_ ;  
 $\eta_{пер.}$  — \_\_\_\_\_ ;  
 при непосредственном соединении насоса с электродвигателем  $\eta_{пер.} = 1$ .

Полный коэффициент полезного действия насоса  $\eta$  \_\_\_\_\_

$$\eta = \frac{N_n}{N}. \quad (9.5)$$

Рабочие характеристики насоса, полученные для определенного числа оборотов  $n$ , могут быть пересчитаны на любое другое число оборотов  $n_1$  по формулам подобия при нормальных режимах работы насоса (в области оптимальных значений его КПД)

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1}; \frac{H}{H_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2; \frac{N}{N_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^3. \quad (9.6)$$

Начертите схему экспериментальной установки обозначьте составные элементы.

Рисунок 9.3 – Экспериментальная установка

- |           |            |
|-----------|------------|
| 1 – _____ | 7 – _____  |
| 2 – _____ | 8 – _____  |
| 3 – _____ | 9 – _____  |
| 4 – _____ | 10 – _____ |
| 5 – _____ | 11 – _____ |
| 6 – _____ | 12 – _____ |

Методика проведения опытных исследований приведена в методических указаниях к лабораторной работе 9. Все данные опытов заносят в таблицу 9.1. Расход жидкости (производительность насоса)  $Q$

$$Q = \frac{V}{T}. \quad (9.7)$$



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башта, Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. – Москва : Машиностроение, 1972. – 320 с.
2. Вильнер, Я. М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я. М. Вильнер, Я. Т. Ковалев, Б. Б. Некрасов ; под ред. Б. Б. Некрасова. – Минск : Вышэйшая школа, 1976. – 416 с.
3. Герц, Е. В. Расчет пневмоприводов : справочное пособие / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – Москва : Машиностроение, 1975. – 272 с.
4. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод : учебное пособие для вузов / Т. В. Артемьева [и др.]. – Москва : Академия, 2008. – 336 с.
5. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта [и др.]. – 2-е изд., перераб. – Москва : Машиностроение, 1982. – 423 с.
6. Ивановский, Ю. К. Основы теории гидропривода : учебное пособие / Ю. К. Ивановский, К. П. Моргунов. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 200 с.
7. Калекин, А. А. Гидравлика и гидравлические машины : учебное пособие для студентов. – Москва : Мир, 2005. – 512 с.
8. Ольшанский, В. И. Расчет гидравлических и пневматических систем : учебное пособие. – Витебск : УО «ВГТУ», 2001. – 77 с.
9. Пневматические системы и устройства технологического оборудования : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Автоматизация технологических процессов и производств» / А. Г. Схиртладзе [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2019. – 127 с.



Учебное издание

## **Гидро- и пневмопривод и гидро- и пневмоавтоматика**

Рабочая тетрадь к лабораторным работам

Составители:  
Ольшанский Валерий Иосифович  
Котов Алексей Анатольевич  
Столяренко Владимир Ильич

Редактор *А.В. Пухальская*  
Корректор *А.В. Пухальская*  
Компьютерная верстка *В.И. Столяренко*

---

Подписано к печати 11.04.2023. Формат 60x90<sup>1/16</sup>. Усл. печ. листов 3,1.  
Уч.-изд. листов 3,9. Тираж 35 экз. Заказ № 108.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Витебский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.