

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

# ГИДРАВЛИКА И ПНЕВМАТИКА. ГИДРАВЛИКА, ГИДРОПРИВОД И ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальностей*

*1-37 01 02 «Автомобилестроение», 1-37 01 06 «Техническая  
эксплуатация автомобилей», 1-37 01 07 «Автосервис»  
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2017

УДК 532:621.22  
ББК 31.56:34.447  
Г 46

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Безопасность жизнедеятельности»  
«15» ноября 2016 г., протокол № 4

Составитель канд. техн. наук, доц. В. И. Мрочек

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкова

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальностей 1-37 01 02 «Автомобилестроение», 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», 1-37 01 07 «Автосервис» дневной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

## ГИДРАВЛИКА И ПНЕВМАТИКА. ГИДРАВЛИКА, ГИДРОПРИВОД И ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТИКА

Ответственный за выпуск

В. И. Мрочек

Технический редактор

А. А. Подошевко

Компьютерная верстка

Е. С. Лустенкова

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 66 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:

Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 24.01.2014.

Пр. Мира, 43, 212000, г. Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский  
университет», 2017



## Содержание

Введение.....	4
1 Основные требования техники безопасности при работе на стендах.....	5
2 Лабораторная работа № 1. Измерение давления и расхода жидкости. Определение режима течения жидкости. Физические свойства жидкостей и газов.....	6
3 Лабораторная работа № 2. Построение напорной и пьезометрической линий трубопровода. Изучение уравнения Бернулли.....	11
4 Лабораторная работа № 3. Определение коэффициентов местных гидравлических сопротивлений.....	15
5 Лабораторная работа № 4. Определение коэффициента гидравлического трения.....	20
6 Лабораторная работа № 5. Изучение устройства и определение рабочих и кавитационных характеристик шестеренного насоса.....	24
7 Лабораторная работа № 6. Изучение устройства и определение характеристик гидроцилиндра и аксиально-поршневого нерегулируемого гидромотора.....	28
8 Лабораторная работа № 7. Изучение устройства и определение характеристик гидрораспределителей.....	34
9 Лабораторная работа № 8. Исследование характеристик объемного регулируемого гидропривода с поступательным движением выходного звена.....	38
Список литературы.....	41



## Введение

В методических рекомендациях представлены материалы к выполнению восьми лабораторных работ, относящихся к разделам «Гидравлика», «Гидравлическая аппаратура», «Гидромашины и гидроприводы». Работы выполняются на трех лабораторных стендах. Описания устройства стендов и основные теоретические положения, необходимые при подготовке к выполнению лабораторных работ и оформлении материалов отчетов, приведены в [1].

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы на стенде, студент изучает основные требования техники безопасности, устройство стенда, готовится к занятию.

Подготовка к лабораторному занятию требует самостоятельной работы вне лаборатории и предусматривает изучение основных теоретических положений по теме выполняемой работы и оформление разделов отчета, не требующих наличия экспериментальных данных. В заготовках отчетов приводятся формы таблиц измеряемых и вычисляемых величин.

***Неподготовленные студенты к занятию не допускаются.***

Схему гидравлическую принципиальную стенда вычерчивают один раз и приводят ее в отчете по первой из выполняемых на стенде работ.

Отчет по лабораторной работе оформляется каждым студентом в отдельной тетради.

### **Содержание отчета:**

- наименование лабораторной работы;
- цель;
- основные теоретические положения;
- схема установки и объекта исследования;
- таблицы измеряемых и вычисляемых величин;
- пример обработки результатов эксперимента (с подстановкой числовых значений величин, полученных в ходе выполнения одного опыта);
- графики;
- выводы.

Не позже чем на следующем лабораторном занятии отчет по лабораторной работе защищается студентом.



## 1 Основные требования техники безопасности при работе на стендах

На первом занятии преподавателем проводится инструктаж студентов по охране труда с соответствующей записью в журнале для инструктажей.

Работа на стендах допускается только в присутствии лаборанта или преподавателя.

При выполнении лабораторных работ необходимо руководствоваться требованиями, изложенными в методических рекомендациях.

Перед включением стендов необходимо убедиться (путем внешнего осмотра) в исправности защитного заземления и целостности соединений трубопроводов.

Золотники гидрораспределителей перед включением насосов должны находиться в нейтральных позициях.

Максимальное давление в гидравлической системе стендов не должно превышать 6,3 МПа.

Электрическое питание стендов – 380 В, 50 Гц. Для управления электромагнитами гидрораспределителей используется напряжение 24 В (постоянный ток).

При возникновении нештатных ситуаций необходимо выключить насосную установку и отключить электрическое питание стенда.

К работам по обслуживанию и ремонту стендов допускается лаборант, прошедший все виды инструктажей, обучение и проверку знаний по охране труда в соответствии с действующим законодательством.



## 2 Лабораторная работа № 1. Измерение давления и расхода жидкости. Определение режима течения жидкости. Физические свойства жидкостей и газов

**Цель работы:** ознакомление с физической сущностью основных величин гидравлики и пневматики, единицами и средствами, используемыми для их измерения; ознакомление с режимами течения жидких и газообразных сред и методикой их определения; уяснение зависимости потерь энергии от режима течения жидкости; экспериментальное определение режимов течения жидкости; изучение основных физических свойств жидкостей и газов; экспериментальное определение вязкости минерального масла.

### 2.1 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить устройство стенда «Гидравлика», вискозиметра Энглера и основные теоретические положения [1].

*2.1.1 Определение режима течения жидкости.* Объектом испытаний в данной работе является стальной трубопровод на участке **в-г** [1]. Для этого участка трубопровода необходимо научиться экспериментально определять режимы течения жидкости.

2.1.1.1 Подготовка установки к работе. Перед включением стенда необходимо убедиться в том, что:

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

2.1.1.2 Определение режима течения жидкости. Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), питание электронного секундомера (тумблер установить в положение «Вкл.»). Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Включить тумблер Р1 в нижнее положение «Вкл. 2». При этом жидкость от насоса через распределитель Р1 будет поступать к трубопроводу, установленному на нижней панели (участок **в-г**, в начале этого участка установлен манометр МН8, а в конце – манометр МН9).

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

– время  $t$  прохождения через расходомер объема жидкости  $W_{ж}$ , с. Объемом  $W_{ж}$  необходимо задаться, приняв его, например, равным во всех опытах  $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  (5 л);

– температуру рабочей жидкости  $T$ , °С (по термометру);

– давления  $p_8$  и  $p_9$  (по манометрам МН8 и МН9), МПа.

Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты исследований

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

### 2.1.2 Проведение испытаний по определению вязкости

2.1.2.1 Определение вязкости минерального масла с помощью вискозиметра Энглера [1, рисунок 1.2]. Перед началом работы следует убедиться в наличии воды между резервуарами 1 и 2, а также при необходимости очистить резервуар 1.

Затем необходимо вынуть термометр 11, снять крышку 9, закрыть стержнем 4 калиброванное отверстие 3 и залить в резервуар 1 до риски 5 исследуемую жидкость. При этом следует обратить внимание на правильность установки вискозиметра, отрегулировав при необходимости горизонтальность его установки. Закрывать крышкой 9 резервуар 1 и вставить термометр 11. Снизу под калиброванное отверстие подставить чистую колбу 13, вынуть стержень 4, включить секундомер и замерить время  $t$  истечения  $200 \text{ см}^3$  исследуемой жидкости. Колбу 13 необходимо установить таким образом, чтобы жидкость стекала по ее стенкам, не образуя при этом пены. При проведении опыта следует по термометру 11 зафиксировать температуру исследуемой жидкости  $T$ .

Далее необходимо жидкость из колбы залить в резервуар 1, включить электронагреватель, повысить температуру исследуемой жидкости на  $5 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C}$  и повторить опыт. Всего необходимо выполнить пять опытов.

**Температура исследуемой жидкости в последнем опыте с целью обеспечения безопасности работ не должна превышать  $60 \dots 70 \text{ }^\circ\text{C}$ .**

Результаты опытов занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты исследований вязкости масла

Номер опыта	Температура жидкости Т, С	Время истечения 200 см <sup>3</sup> t, с	Условная вязкость, °ВУ	Кинематическая вязкость $\nu$ , м <sup>2</sup> /с	Динамическая вязкость $\mu$ , Па·с
1					
...					
5					

## 2.2 Обработка результатов

2.2.1 Исследование режимов течения жидкости. Расход Q определяется по формуле

$$Q = W_{\text{ж}} / t,$$

где  $W_{\text{ж}}$  – объем жидкости, проходящей через расходомер, м<sup>3</sup>;  
t – время.

Средняя скорость потока

$$V = Q / A_{\text{тр}},$$

где  $A_{\text{тр}}$  – площадь сечения трубопровода, м<sup>2</sup>.

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

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

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu},$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с.

Мощности потока в сечениях 8–8 и 9–9 соответственно

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

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

После заполнения таблицы 2.1 необходимо с учетом классов точно-



сти и пределов измерений определить допустимые ошибки измерения для всех типов манометров, установленных на стенде. Полученные результаты следует привести в отчете.

2.2.2 *Определение вязкости минерального масла с помощью вискозиметра Энглера.* Используя результаты опытов (см. таблицу 2.2), определяют условную вязкость:

$$^{\circ}\text{ВУ} = \frac{t}{t_{\text{в}}},$$

где  $t$  – время истечения из вискозиметра  $200 \text{ см}^3$  исследуемой жидкости при данной температуре;

$t_{\text{в}}$  – время истечения из вискозиметра  $200 \text{ см}^3$  дистиллированной воды при  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (для используемого в лабораторной работе вискозиметра  $t_{\text{в}} = 51 \text{ с}$ . Это время еще называют постоянной вискозиметра или водным числом).

Зная условную вязкость, кинематическую вязкость можно определить, например, по эмпирической формуле Уббелоды:

$$\nu = (0,0731 \cdot ^{\circ}\text{ВУ} - 0,0631 / ^{\circ}\text{ВУ}) \cdot 10^{-4}.$$

Динамическая вязкость

$$\mu = \nu \rho.$$

Исследуемой жидкостью в данной работе является минеральное масло МГЕ-46В ( $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ ).

Результаты вычислений заносятся в таблицу 2.1. Полученные значения коэффициентов вязкости сопоставляются со справочными.

По результатам исследований следует построить **график  $\nu = f(T)$** .

### ***Контрольные вопросы***

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

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

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

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



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

6 Определение мощности в гидравлических системах.

7 Оценка допустимой погрешности измерения давления манометром.

8 Физические свойства жидкостей и газов.

9 Закон жидкостного трения Ньютона–Петрова.

10 Методика определения вязкости жидкостей с помощью вискозиметра Энглера, понятие условной вязкости.

11 Единицы измерения кинематической и динамической вязкости.



### 3 Лабораторная работа № 2. Построение напорной и пьезометрической линий трубопровода. Изучение уравнения Бернулли

**Цель работы:** уяснение физической сущности полного напора и всех его составляющих: геометрического, пьезометрического и скоростного напоров; уяснение физической сущности закона Бернулли; построение напорных и пьезометрических линий трубопровода; построение графических зависимостей изменения мощности потока по длине трубопровода.

#### 3.1 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить основные теоретические положения [1]. Эксперименты проводятся на стенде «Гидравлика».

**Объектом испытаний** в данной работе является стальной трубопровод (от сечения 1–1 до сечения 5–5), схема которого представлена на рисунке 3.1.

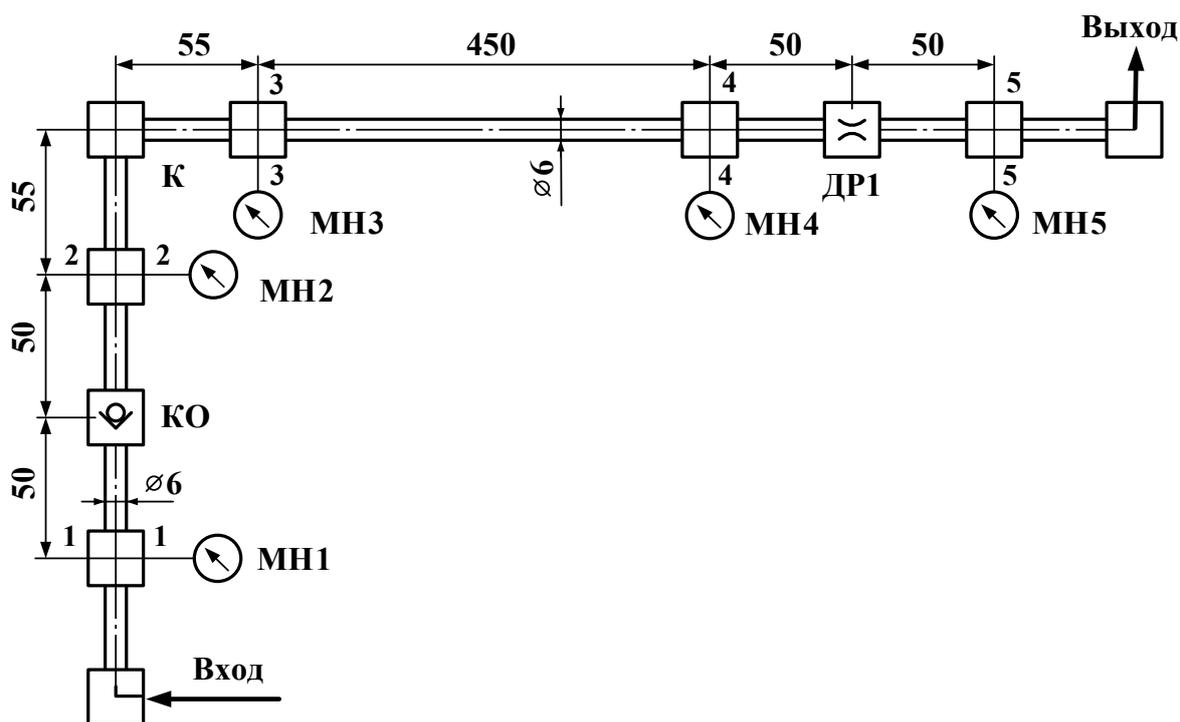


Рисунок 3.1 – Схема исследуемого трубопровода

Общая протяженность исследуемого трубопровода – 760 мм (0,76 м). Размеры на схеме приведены в миллиметрах. Трубопровод содержит три местных сопротивления: клапан обратный КО (без пружины), колесо К (поворот на 90 град), нерегулируемый гидродроссель ДР1. К пяти сечениям подключены манометры МН1...МН5.

**3.1.1 Подготовка установки к работе.** Перед включением стенда необходимо убедиться в том, что:

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

**3.1.2 Проведение эксперимента.** Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), питание электронного секундомера (тумблер установить в положение «Вкл.»). Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Включить тумблер Р1 в верхнее положение «Вкл. 1». При этом жидкость от насоса через распределитель Р1 направляется к исследуемому трубопроводу (установлен на средней панели стенда).

При различных настройках регулятора расхода РР провести два опыта. *Первый* опыт проводить при минимальном, а *второй* – при максимальном расходе (смотреть по расходомеру РА).

В каждом опыте необходимо измерять:

- давления  $p_1 \dots p_5$  по манометрам МН1...МН5;
  - время  $t$  прохождения через расходомер объема жидкости  $W_{ж}$ , с. Объемом  $W_{ж}$  необходимо задаться, приняв его, например, равным в обоих опытах  $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  (5 л);
  - температуру рабочей жидкости  $T$ , °С (по термометру).
- Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

### 3.2 Обработка результатов

Расход жидкости в трубопроводе

$$Q = \frac{W_{ж}}{t}$$

Средняя скорость потока

$$V = \frac{Q}{A_{тр}}$$

где  $A_{тр}$  – площадь сечения трубопровода,  $\text{м}^2$ .



Таблица 3.1 – Результаты исследований

Номер опыта	1					2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Номер сечения трубопровода $i$										
Величина давления $p_i$ , МПа										
Объем $W_{ж}$ жидкости, проходящей через расходомер, $m^3$	$5 \cdot 10^{-3}$					$5 \cdot 10^{-3}$				
Время $t$ прохождения объема $W_{ж}$ жидкости через расходомер, с										
Температура $T$ жидкости, $^{\circ}C$										
Расход жидкости $Q$ , $m^3/c$										
Средняя скорость $V$ , м/с										
Кинематическая вязкость $\nu$ , $m^2/c$										
Число Рейнольдса $Re$										
Коэффициент Кориолиса $\alpha$										
Геометрический напор $h_{гi}$ , м										
Пьезометрический напор $h_{пi}$ , м										
Скоростной напор $h_{ск}$ , м										
Удельная потенциальная энергия потока $h_{потi}$ , м										
Полный напор $H_i$ , м										
Мощность потока $N_i$ , Вт										

*Примечание* – Пьезометрический напор  $h_{пi} = p_i / (\rho \cdot g)$ . Скоростной напор  $h_{ск} = \alpha \cdot V^2 / (2 \cdot g)$ . Удельная потенциальная энергия потока  $h_{потi} = z_i + p_i / (\rho \cdot g)$

Во всех сечениях скорости одинаковые, поскольку диаметр трубопровода  $d$  во всех сечениях 6 мм.

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

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

Коэффициент Кориолиса  $\alpha = 2$  при  $Re < 2320$  и  $\alpha \approx 1$  при  $Re > 2320$ .

Геометрические напоры  $Z_i$  равны значениям вертикальных координат (в выбранной системе координат). В данной работе рекомендуется плоскость сравнения расположить таким образом, чтобы сечение 1–1 находилось в этой плоскости. Тогда расстояние от центра сечения трубопровода до плоскости сравнения будет равно геометрическому напору  $Z_i$ .

При вычислении пьезометрических напоров  $p_i / (\rho g)$  плотность масла (МГЕ-46 В) принять  $890 \text{ кг/м}^3$ .

При вычислении скоростного (динамического) напора коэффициент Кориолиса во всех опытах – величина постоянная.

Полный напор  $H_i$  и мощность потока  $N_i$  вычисляются по формулам



$$H_i = z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{\alpha V_i^2}{2g}; N_i = H_i \gamma Q_i,$$

где  $\gamma$  – удельный вес жидкости, Н/м<sup>3</sup>.

Результаты вычислений занести в таблицу 3.1 и построить для **обоих опытов** напорную и пьезометрические линии трубопровода  $H = f_1(\ell_{\text{тр}})$ ,  $z + p / (\rho g) = f_2(\ell_{\text{тр}})$ , а также зависимость  $N_i = f(\ell_{\text{тр}})$ , где  $\ell_{\text{тр}}$  – длина трубопровода.

При построении графиков необходимо учитывать, что начало трубопровода находится в сечении 1–1, а конец – в сечении 5–5.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Устройство лабораторного стенда.
- 2 Физический смысл геометрического, пьезометрического, скоростного и полного напоров, методика их экспериментального определения.
- 3 Назначение и физический смысл уравнения Бернулли.
- 4 Напорная и пьезометрическая линии: назначение, методика построения.
- 5 Физический смысл гидравлического и пьезометрического уклонов.
- 6 Связь полного напора и мощности.
- 7 Определение потерь напора и мощности.



## 4 Лабораторная работа № 3. Определение коэффициентов местных гидравлических сопротивлений

**Цель работы:** изучение методики экспериментального определения коэффициентов местных гидравлических сопротивлений; экспериментальное определение коэффициентов сопротивления обратного клапана, колена, постоянного гидродросселя; установление зависимости коэффициентов местных гидравлических сопротивлений от режимов течения жидкости.

### 4.1 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить основные теоретические положения [1]. Работа выполняется на стенде «Гидравлика».

**Объектом испытаний** в данной работе является стальной трубопровод (от сечения 1–1 до сечения 5–5), содержащий три гидравлических местных сопротивления: обратный клапан (без пружины); колено (поворот на 90 град); постоянный гидродроссель ДР1 (рисунок 4.1).

Размеры на схеме приведены в миллиметрах. Трубопровод содержит клапан обратный КО (без пружины), колено К (поворот на 90 град) и постоянный гидродроссель ДР1 (диаметр 3 мм, толщина стенки 1,5 мм), контрольный участок (расположен между сечениями 3–3 и 4–4).

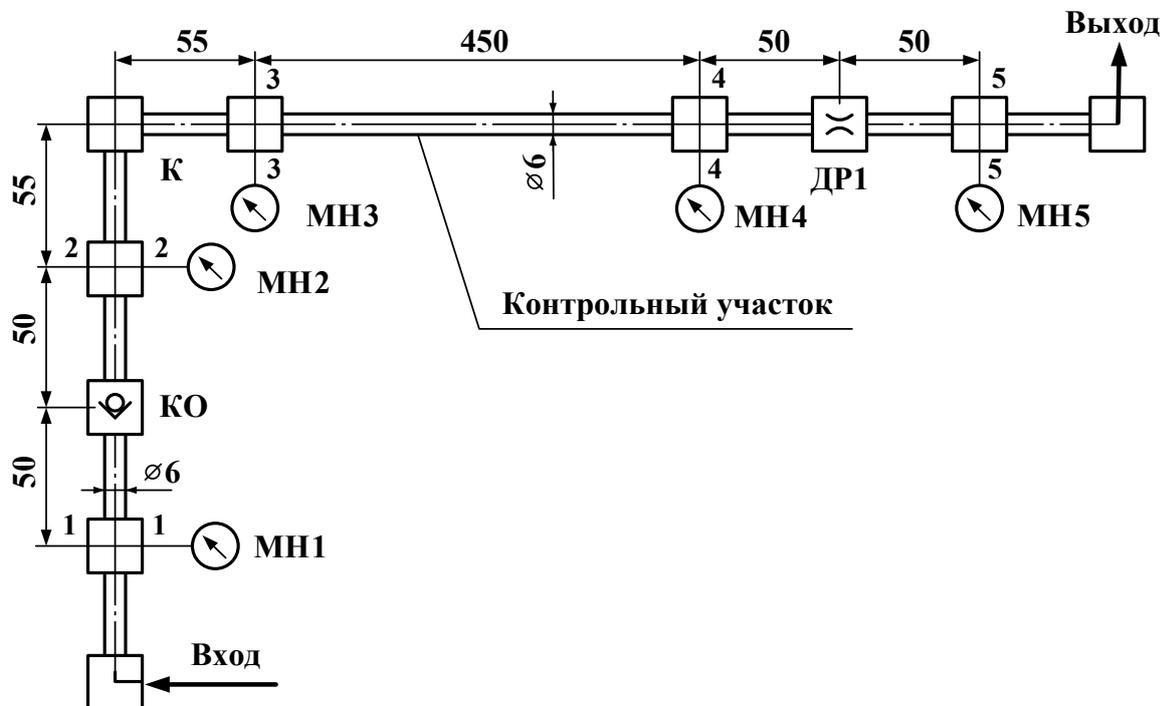


Рисунок 4.1 – Схема объекта исследований

4.1.1 Подготовка установки к работе. Перед включением стенда необходимо убедиться в том, что:

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

4.1.2 Проведение эксперимента. Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), питание электронного секундомера (тумблер установить в положение «Вкл.»). Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Включить тумблер Р1 в верхнее положение «Вкл. 1». При этом жидкость от насоса через распределитель Р1 направляется к исследуемому трубопроводу (установлен на средней панели стенда).

При различных настройках регулятора расхода РР необходимо провести четыре опыта. Первый опыт проводить при минимальном, а последний – при максимально возможном расходах (смотреть по расходомеру РА).

В каждом опыте необходимо измерять:

- давления  $p_{j1} \dots p_{j5}$  по манометрам МН1...МН5 (индекс  $j$  соответствует номеру опыта);
  - время  $t_j$  прохождения через расходомер объема жидкости  $W_{ж}$ , с. Объемом  $W_{ж}$  необходимо задаться, приняв его, например, равным во всех опытах  $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  (5 л);
  - температуру рабочей жидкости  $T_j$ , °С (по термометру).
- Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты исследований

Но- мер опы- та $j$	Показание маномет- ров МН1...МН5, МПа					Время $t_j$ про- хождения объема $W_{ж}$ жидкости через расхо- домер, с	Объем жид- кости $W_{ж}$ , проходящей через рас- ходомер, $\text{м}^3$	Температура рабочей жидкости $T_j$ , °С	Кинемати- ческая вяз- кость $\nu_j$ , $\text{м}^2/\text{с}$	Расход жидкости $Q_j$ , $\text{м}^3/\text{с}$
	$p_{j1}$	$p_{j2}$	$p_{j3}$	$p_{j4}$	$p_{j5}$					
1						$5 \cdot 10^{-3}$				
2										
3										
4										

Примечание – Цифровой индекс при  $p$  соответствует номеру сечения и манометра.



После выполнения всех опытов необходимо отключить установку.

#### 4.2 Обработка результатов

Кинематическая вязкость  $\nu_j$  (см. таблицу 4.1) определяется при  $T_j$  по графику  $\nu = f(T)$ , который имеется в лаборатории (в качестве рабочей жидкости используется масло для гидрообъемных передач МГЕ-46 В).

Расход жидкости в трубопроводе (см. таблицу 4.1)

$$Q_j = W_{ж} / t_j .$$

В таблице 4.2 приведены результаты обработки данных эксперимента.

Таблица 4.2 – Результаты обработки экспериментальных данных

Номер опыта j	1					2					3					4				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Средняя скорость $V_j$ , м/с																				
Число Рейнольдса $Re_j$																				
Коэффициент Кориолиса $\alpha_j$																				
Пьезометрический напор $h_{п,j,i}$ , м																				
Скоростной напор $h_{с,j}$ , м																				
Полный напор $H_{j,i}$ , м																				
Гидравлический уклон $i_j$																				
Потери напора $h_{к0j}$ на клапане обратном, м																				
Потери напора $h_{кj}$ на колене, м																				
Потери напора $h_{дрj}$ на гидродросселе ДР1, м																				
Коэффициент местного сопротивления клапана обратного $\zeta_{к0j}$																				
Коэффициент местного сопротивления колена $\zeta_{кj}$																				
Коэффициент местного сопротивления гидродросселя $\zeta_{дрj}$																				

Средняя скорость потока

$$V_j = Q_j / A_{тр} ,$$

где  $A_{тр}$  – площадь сечения трубопровода (внутренний диаметр трубопровода  $d = 6 \cdot 10^{-3}$  м (6 мм)),  $m^2$  .

Число Рейнольдса

$$\text{Re}_j = \frac{V_j \cdot d}{\nu_j}$$

Коэффициент Кориолиса  $\alpha_j = 2$  при  $\text{Re}_j < 2320$  и  $\alpha_j = 1$  при  $\text{Re}_j > 2320$ .

Пьезометрический напор

$$h_{\text{пж},i} = p_{j,i} / (\rho g),$$

где  $p_{j,i}$  – давление в  $j$ -м опыте и в  $i$ -м сечении, Па;

$\rho$  – плотность жидкости,  $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ .

Скоростной напор

$$h_{\text{сж}} = \alpha_j \cdot V_j^2 / (2g).$$

В пределах опыта скоростной напор  $h_{\text{сж}}$  – величина постоянная, а пьезометрические напоры  $h_{\text{пж},i}$  изменяются как при переходе от одного опыта к другому, так и при изменении сечения.

Полный напор

$$H_{j,i} = h_{\text{сж}} + h_{\text{пж},i}.$$

Гидравлический уклон (определяется на контрольном участке)

$$i_j = H_{j3} - H_{j4} / \ell_{3-4},$$

где  $\ell_{3-4}$  – длина контрольного участка, м .

Потери напора на местных сопротивлениях (КО, К и ДР1) вычисляются в соответствии с изложенной в [1] методикой по формуле

$$h_{\text{м}} = H_{\text{вх}} - H_{\text{вых}} - i\ell,$$

где  $H_{\text{вх}}$  и  $H_{\text{вых}}$  – полные напоры на входе и выходе местного сопротивления, м;

$i$  – гидравлический уклон;

$\ell$  – длина участка, на котором расположено местное сопротивление.



Так, если нужно определить потери напора на клапане обратном (КО), например, в первом опыте ( $j = 1$ ), то

$$h_{\text{ко}1} = H_{1,1} - H_{1,2} - i_1 \cdot \ell_{1-2},$$

где  $H_{1,1}$  – полный напор (первый индекс – номер опыта, второй индекс – номер сечения);

$H_{1,2}$  – полный напор в первом опыте в сечении 2–2;

$i_1$  – гидравлический уклон в первом опыте;

$\ell_{1-2}$  – расстояние между сечениями 1–1 и 2–2 (по схеме на рисунке 4.1,  $\ell_{1-2} = 50 + 50 = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$ ).

Аналогичный подход используется при определении потерь напора на остальных сопротивлениях (гидродросселе, колене). При определении потерь необходимо использовать соответствующие напоры в сечениях  $H_{j,i}$ , гидравлические уклоны  $i_j$  и длины участков, на которых между двумя смежными сечениями установлено исследуемое местное сопротивление. После вычисления всех потерь напора на местных сопротивлениях определяются для четырех опытов численные значения  $\zeta_{\text{ко}j}$ ,  $\zeta_{\text{к}j}$  и  $\zeta_{\text{др}j}$ .

При этом используется формула  $\zeta_m = \frac{2gh_m}{V^2}$  ( $h_m$  – потери напора на местном сопротивлении).

После заполнения таблицы 4.2 нужно **построить графические зависимости**  $\zeta_{\text{ко}} = f_1(\text{Re})$ ,  $\zeta_{\text{к}} = f_2(\text{Re})$  и  $\zeta_{\text{др}} = f_3(\text{Re})$ . Построение можно выполнить на одном рисунке. Полученные значения коэффициентов местных сопротивлений нужно сравнить со справочными данными [8].

### **Контрольные вопросы**

1 Дать определение местного сопротивления, назвать основные виды местных сопротивлений.

2 Объяснить причины, вызывающие потери напора в местных сопротивлениях.

3 В чем заключается методика экспериментального определения  $\zeta_m$ ?

4 С какой целью определяются гидравлические уклоны?

5 Какие факторы влияют на величину  $\zeta_m$  при ламинарном и турбулентном режимах течения?

6 Назвать справочные значения  $\zeta_m$  для исследуемых местных сопротивлений.



## 5 Лабораторная работа № 4. Определение коэффициента гидравлического трения

**Цель работы:** изучение способов определения коэффициента гидравлического трения; определение коэффициента гидравлического трения стального трубопровода; построение графических зависимостей коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса.

### 5.1 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить основные теоретические положения [1]. Работа выполняется на стенде «Гидравлика».

**Объектом испытаний** в данной работе является стальной трубопровод (участок от сечения 8–8 до сечения 9–9), схема которого представлена на рисунке 5.1

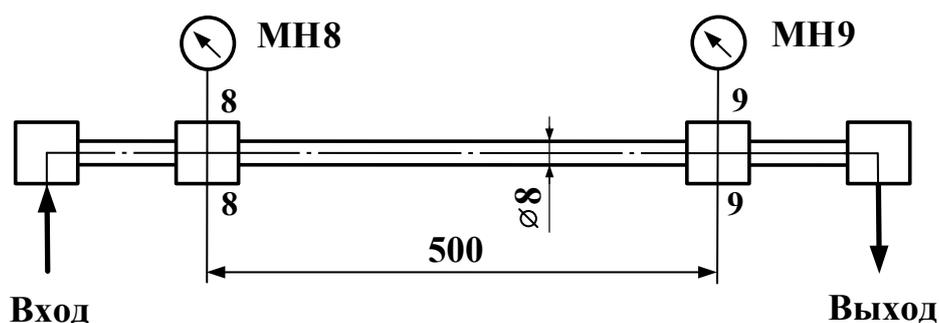


Рисунок 5.1 – Схема исследуемого трубопровода

Размеры на схеме приведены в миллиметрах. Внутренний диаметр трубопровода – 8 мм. К начальному 8–8 и конечному 9–9 сечениям исследуемого трубопровода подключены манометры МН8 и МН9. Эквивалентная шероховатость внутренней стенки трубопровода  $\Delta_s = 0,1$  мм [8].

**5.1.1 Подготовка установки к работе.** Перед включением установки необходимо убедиться, что:

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

5.1.2 *Проведение эксперимента.* Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), питание электронного секундомера (тумблер установить в положение «Вкл.»). Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Включить тумблер Р1 в нижнее положение «Вкл. 2». При этом жидкость от насоса через распределитель Р1 направляется к исследуемому трубопроводу (установлен на нижней панели стенда).

При различных настройках регулятора расхода РР провести шесть опытов. Первый опыт проводить при минимальном, а шестой – при максимальном расходе (смотреть по расходомеру Р4).

В каждом опыте необходимо измерять:

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

Результаты измерения занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты исследований

Номер опыта	1	2	3	4	5	6
Показания манометров, МПа	$p_8$					
	$p_9$					
Потери напора $h_{дл}$ , м						
Объем жидкости $W_{ж}$ , проходящей через счетчик, $\text{м}^3$	$5 \cdot 10^{-3}$					
Время $t$ прохождения объема, с						
Температура рабочей жидкости $T$ , °С						
Расход $Q$ , $\text{м}^3/\text{с}$						
Средняя скорость $V$ , м/с						
Кинематическая вязкость $\nu$ , $\text{м}^2/\text{с}$						
Число Рейнольдса $Re$						
Коэффициент гидравлического трения	$\lambda_{э}$					
	$\lambda_{р}$					

*Примечание* –  $Q = W / t$ .

После выполнения всех опытов необходимо маховик регулятора расхода РР повернуть до ограничения против часовой стрелки (указатель положения маховика в позиции «1»), тумблер управления гидрораспределителем Р1 установить в среднее положение, выключить электрическое питание секундомера, электродвигателя и стенда.



## 5.2 Обработка результатов

Потери напора на участке между сечениями 8–8 и 9–9 трубопровода (потери по длине)

$$h_{\text{дл}} = \frac{p_8 - p_9}{\rho g},$$

где  $\rho$  – плотность масла,  $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ .

Давления  $p_8$  и  $p_9$  необходимо подставлять в формулу в паскалях.

Расход жидкости в трубопроводе

$$Q = \frac{W_{\text{ж}}}{t}.$$

Средняя скорость жидкости в трубопроводе

$$V = \frac{Q}{A_{\text{тр}}},$$

где  $A_{\text{тр}}$  – площадь сечения трубопровода (внутренний диаметр трубопровода  $d = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  (8 мм)).

Кинематическую вязкость определяют по графику  $\nu = f(T)$ , который имеется в лаборатории (масло МГЕ-46В).

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}.$$

Коэффициент гидравлического трения, определяемый экспериментальным путем,

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{2 \cdot h_{\text{дл}} \cdot d \cdot g}{\ell \cdot V^2},$$

где  $\ell$  – длина трубопровода,  $\ell = 0,5 \text{ м}$ .

Для определения коэффициента гидравлического трения расчетным путем (обозначен  $\lambda_p$ ) необходимо для каждого опыта установить, в какой зоне гидравлического сопротивления происходит течение жидкости.

Для определения зоны гидравлического сопротивления следует использовать численное значение  $Re$  (из таблицы 5.1).



После установления зоны, в которой происходит течение жидкости, нужно воспользоваться формулой, рекомендуемой для вычисления  $\lambda$  в этой зоне. Так, например, если течение происходит в первой зоне ( $Re < 2320$ ), то нужно воспользоваться формулой  $\lambda = 64/Re$ . Для других зон используются формулы, приведенные в [1].

После выполнения всех расчетов **необходимо построить графические зависимости**  $\lambda_{\text{э}} = f_1(Re)$  и  $\lambda_{\text{р}} = f_2(Re)$  (лучше это сделать на одном рисунке) и проанализировать полученные результаты.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Устройство лабораторного стенда.
- 2 Как определять потери на трение по длине трубопровода?
- 3 Методика экспериментального определения коэффициента гидравлического трения.
- 4 Методика расчетного определения коэффициента гидравлического трения.
- 5 Какие факторы влияют на величину потерь на трение по длине трубопровода?
- 6 Что такое гидравлически гладкие и гидравлически шероховатые трубы?
- 7 Поясните физический смысл эквивалентной шероховатости труб  $\Delta_{\text{э}}$ .



## 6 Лабораторная работа № 5. Изучение устройства и определение рабочих и кавитационных характеристик шестеренного насоса

**Цель работы:** изучение устройства шестеренного насоса; изучение технических показателей объемных насосов; изучение методики экспериментального определения рабочих и кавитационных характеристик насоса.

### 6.1 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить устройство стенда, основные теоретические положения [1]. Работа выполняется на стенде «Гидромашины и гидроприводы».

Объектом испытаний в данной работе является шестеренный насос Н1 [1] типа НШ10-3 (рабочий объем  $V_0 = 10 \text{ см}^3$ , объемный КПД  $\eta_0 = 0,92$ , полный КПД  $\eta_n = 0,8$ ).

При проведении испытаний по определению рабочих характеристик необходимо учитывать, что в напорной линии насоса Н1 установлен предохранительный клапан КП1, т. е. в данной работе определяются рабочие характеристики насоса совместно с предохранительным клапаном.

*6.1.1 Подготовка установки к работе.* Перед включением стенда необходимо убедиться в том, что:

- вентиль В1 (установлен снизу на баке слева) полностью открыт (маховик управления полностью вывернут против часовой стрелки);
- полностью вывернуть по часовой стрелке маховик управления регулируемым дросселем ДР1 (этому положению соответствует максимальное проходное сечение дросселя);
- тумблеры управления гидрораспределителями:
  - Р1 – в положении «Выкл.»,
  - Р2 – в положении «Выкл.»,
  - Р3 – в положении «Выкл.».

*6.1.2 Определение рабочих характеристик.* Включить электрическое питание стенда, электродвигателя М1, электронного секундомера, тахометра  $n_{н1}$ . Тумблер переключения режимов работы секундомера SA3 установить в положение «Ручн.». Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Включить тумблер Р1 в положение «Вкл.1», а тумблер Р3 – в положение «Вкл.».

При различных настройках регулируемого дросселя ДР1 провести шесть опытов. В каждом опыте необходимо измерять:



- давление  $p_1$  (по вакуумметру, установлен снизу);
- давление  $p_2$  (по манометру МН1);
- частоту вращения вала насоса  $n$  (для определения частоты вращения  $n$  в оборотах в секунду показание тахометра  $n_{н1}$  необходимо делить на 2);
- мощность  $N_э$ , подводимую к электродвигателю М1 (по киловаттметру, одно деление равно 200 Вт);
- время  $t$  прохождения через расходомер РА объема жидкости  $W_{ж}$  (принять  $W_{ж} = 10 \text{ дм}^3 = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ ).

Результаты измерений занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты экспериментального определения рабочих характеристик насоса

Номер опыта	1	...	6
Показание вакуумметра $p_1$ , МПа			
Показание манометра $p_2$ , МПа			
Показание киловаттметра $N_э$ , Вт			
Частота вращения вала насоса $n$ , об/с			
Время $t$ прохождения через расходомер объема жидкости $W_{ж}$ , с			
Объем жидкости $W_{ж}$ , проходящей через расходомер, $\text{м}^3$	$1 \cdot 10^{-2}$		
Подача насоса $Q_n$ (действительная), $\text{м}^3/\text{с}$			
Теоретическая подача насоса $Q_t$ , $\text{м}^3/\text{с}$			
Давление насоса $p_n$ , МПа			
Мощность насоса $N_n$ , Вт			
Объемный КПД $\eta_o$			
Полезная мощность насоса $N_p$ , Вт			
Полный КПД насоса $\eta_n$			

**6.1.3 Определение кавитационных характеристик.** Тумблеры управления гидрораспределителями должны быть в том же положении, что и в п. 6.1.2. С помощью регулируемого дросселя ДР1 установить давление в напорной линии насоса по манометру МН1, равное, например, 1 МПа. При различных степенях закрытия вентиля В1 провести серию опытов. В каждом опыте измерять все величины, которые измерялись при определении рабочих характеристик (см. п. 6.1.2).

Результаты измерений занести в таблицу 6.2.

В процессе определения кавитационных характеристик первоначальную настройку регулируемого дросселя ДР1 **не изменять**.

**Внимание!** При входе в режим кавитации происходит «срыв» подачи насоса. При этом прекращается проток рабочей жидкости через насос и ухудшается его охлаждение и смазка. Поэтому с целью предотвращения преждевременного выхода из строя насос не рекомендуется вводить в ре-



жим кавитации. Для этого необходимо следить за стрелкой расходомера РА: стрелка должна вращаться.

После завершения опытов по определению кавитационных характеристик необходимо **полностью открыть вентиль В1**.

После выполнения всех опытов необходимо тумблеры управления гидрораспределителями Р1 и Р3 установить в положение «Выкл.», отключить электропитание тахометра, секундомера, электродвигателя М1 и стенда.

Таблица 6.2 – Результаты экспериментальных определений кавитационных характеристик насоса

Номер опыта	1	...	6
Показание вакуумметра $p_1$ , МПа			
Показание манометра $p_2$ , МПа			
Показание киловаттметра $N_3$ , Вт			
Частота вращения вала насоса $n$ , об/с			
Время $t$ прохождения через расходомер объема жидкости $W_{ж}$ , с			
Объем жидкости $W_{ж}$ , проходящей через расходомер, $м^3$	$1 \cdot 10^{-2}$		
Подача насоса $Q_n$ (действительная), $м^3/с$			
Теоретическая подача насоса $Q_T$ , $м^3/с$			
Давление насоса $p_n$ , МПа			
Мощность насоса $N_n$ , Вт			
Объемный КПД $\eta_o$			
Полезная мощность насоса $N_n$ , Вт			
Полный КПД насоса $\eta_n$			

## 6.2 Обработка результатов

Подача насоса  $Q_n$  (действительная) равна расходу жидкости в напорной линии. Поэтому

$$Q_n = \frac{W_{ж}}{t}.$$

Теоретическая подача насоса

$$Q_T = V_o n,$$

где  $n$  – частота вращения вала насоса,  $с^{-1}$  (об/с).

Давление насоса

$$p_n = p_2 - p_1,$$



где  $p_1, p_2$  – абсолютные давления на входе и выходе насоса соответственно, Па.

Мощность насоса

$$N_H = \eta_{эд} N_э,$$

где  $\eta_{эд}$  – КПД электродвигателя М1, принять  $\eta_{эд} = 0,82$ .

Объемный КПД насоса  $\eta_o$ , полезная мощность насоса  $N_{п}$ , полный КПД насоса  $\eta_H$  вычисляются по формулам:

$$\eta_o = \frac{Q_H}{Q_T}; N_{п} = p_H Q_H; \eta_H = \frac{N_{п}}{N_H}.$$

Величина абсолютного давления на входе в насос

$$p_{a1} = p_o - p_1,$$

где  $p_o$  – атмосферное давление,  $p_o = 0,1$  МПа.

**После выполнения вычислений построить:**

- 1) рабочие характеристики насоса:  $Q_H = f_1(p_H)$ ,  $N_{п} = f_2(p_H)$ ,  
 $\eta_o = f_3(p_H)$ ,  $\eta_H = f_4(p_H)$ ;
- 2) кавитационные характеристики насоса:  $Q_H = f_5(p_{a1})$ ,  $N_{п} = f_6(p_{a1})$ ,  
 $\eta_o = f_7(p_{a1})$ ,  $\eta_H = f_8(p_{a1})$ .

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Назначение элементов и устройство стенда.
- 2 Основные технические параметры объемных насосов.
- 3 Схемы шестеренных насосов. Устройство шестеренного насоса.
- 4 Физический смысл кавитации в насосах, последствия кавитации.
- 5 Методика определения рабочих и кавитационных характеристик шестеренного насоса.
- 6 Анализ результатов испытаний шестеренного насоса.



## 7 Лабораторная работа № 6. Изучение устройства и определение характеристик гидроцилиндра и аксиально-поршневого нерегулируемого гидромотора

**Цель работы:** изучение устройства гидроцилиндра и аксиально-поршневого нерегулируемого гидромотора; изучение основных технических показателей гидроцилиндров и гидромоторов; изучение методики экспериментального определения характеристик гидроцилиндра и гидромотора.

### 7.1 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить основные теоретические положения [1]. Работа выполняется на стенде «Гидромашины и гидроприводы».

Объектами испытаний в данной работе являются:

– гидроцилиндр двустороннего действия с односторонним штоком (установлен на стенде снизу) ГЦ 63.200.16.000 (диаметр цилиндра  $D = 63$  мм, ход штока  $h = 200$  мм, диаметр штока  $d = 25$  мм);

– аксиально-поршневой нерегулируемый гидромотор Г15-21Р (рабочий объем  $V_{o,m} = 11,2$  см<sup>3</sup>; номинальный расход  $Q_{ном} = 10,8$  л/мин; номинальное давление  $p_{ном} = 6,3$  МПа; номинальная потребляемая мощность  $N_{м,ном} = 0,96$  кВт; номинальный момент на выходном валу  $M_{м,ном} = 9,4$  Н·м; полный КПД  $\eta_m = 0,87$ , объемный КПД  $\eta_{м,о} = 0,91$ ).

**7.1.1 Подготовка установки к работе.** Перед включением стенда необходимо убедиться в том, что:

– вентиль В1 (установлен снизу на баке слева) полностью открыт (маховик управления полностью вывернут против часовой стрелки);

– тумблеры управления гидрораспределителями Р1, Р2 и Р3 установлены в положение «Выкл.».

После этого необходимо повернуть до ограничения против часовой стрелки маховик управления регулятором РР2 (настроить регулятор на минимальный расход).

**7.1.2 Испытания гидроцилиндра.** Включить электропитание стенда. Включить электродвигатели М1 и М2. Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Включить тумблер Р2 в положение «Вкл.1», при этом шток нижнего гидроцилиндра Ц1 начнет медленно выдвигаться. Если шток не выдвигается, то необходимо маховик управления регулятором РР2 медленно поворачивать по часовой стрелке с тем, чтобы добиться медленного выдвиг-



жения штока. Опыты по определению характеристик гидроцилиндра Ц1 желательно начинать при низкой скорости выдвижения штока цилиндра Ц1. При этом увеличится время опыта и легче будет производить необходимые измерения.

Опыты необходимо проводить при различных нагрузках на штоке гидроцилиндра Ц1, что достигается путем изменения давления  $p_5$  в поршневой полости цилиндра Ц2. Изменение этого давления осуществляется путем изменения настройки клапана КП2 (при вворачивании регулировочного винта клапана давление (нагрузка) повышается). Настройку давления  $p_5$  следует выполнять в одном из крайних положений штока гидроцилиндра (например, при полностью втянутом штоке гидроцилиндра Ц1).

При испытаниях гидроцилиндра Ц1 рекомендуется провести три опыта (установить три уровня давления  $p_5$  по манометру МН5: 1, 2, 3 МПа). При установке тумблера Р2 в положение «Вкл.2» происходит обратный ход (втягивание) штока гидроцилиндра Ц1. Измерение давлений  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_4$  и  $p_5$  (по манометрам МН2...МН5) осуществляется при выдвижении штока цилиндра Ц1 (нижний гидроцилиндр). Втягивание штока цилиндра Ц1 является холостым ходом.

Результаты измерений необходимо записать в таблицу 7.1.

После выполнения всех опытов необходимо отключить питание электродвигателя М2.

Таблица 7.1 – Результаты испытаний гидроцилиндра

Номер опыта	Давление, МПа				Механический КПД $\eta_{м.ц}$
	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	
1					
2					
3					

**7.1.3 Испытания гидромотора.** Предполагается, что электропитание стенда и электродвигателя М1 включено. Далее необходимо включить:

- питание электронного секундомера;
- тумблер SA3 в положение «Ручн.»;
- питание тахометра  $n_{Н1}$ ;
- тумблер Р1 в положение «Вкл.2».

Маховик управления регулятором расхода РР1 необходимо повернуть до ограничения по часовой стрелке. При этом регулятор будет настроен на максимальный расход, а вал гидромотора будет вращаться с максимально возможной скоростью. При вращении вала гидромотора вращается также и вал насоса нагрузки Н2. Уровень нагрузки на валу гидромотора определяется настройкой регулируемого дросселя ДР2. При пово-



роте по часовой стрелке до ограничения маховика управления регулируемого дросселя ДР2 нагрузка на валу гидромотора минимальная.

Следует при различных настройках регулятора расхода РР1 провести две серии опытов. *Первую* серию опытов провести при максимальной частоте вращения вала гидромотора, а *вторую* – при частоте вращения, уменьшенной примерно в два раза.

В каждой серии провести шесть опытов при различных настройках регулируемого дросселя ДР2.

В каждом опыте необходимо измерять:

- давление  $p_6$  (манометр МН6);
- давление  $p_7$  (манометр МН7);
- давление  $p_8$  (манометр МН8);
- частоту вращения вала гидромотора  $n_m$  (для получения  $n_m$  в оборотах в секунду, показание тахометра необходимо делить на 2);
- расход жидкости на выходе гидромотора  $Q_{\text{вых}}$  (измеряется с помощью расходомера РА и электронного секундомера);
- расход утечек  $Q_{\text{ут.д}}$  из корпуса гидромотора в дренажную линию (измеряется с помощью мерного бачка Б2 с указателем уровня УУ и электронного секундомера).

Результаты измерений записать в таблицу 7.2.

После выполнения всех опытов необходимо тумблер управления гидрораспределителем Р1 установить в положение «Выкл.» и отключить электропитание тахометра, секундомера, электродвигателя М1 и стенда.

## 7.2 Обработка результатов

### 7.2.1 Обработка результатов испытаний гидроцилиндра.

Механический КПД гидроцилиндра

$$\eta_{\text{м.ц}} = \sqrt{[p_5 A_{\text{п}} - p_4 (A_{\text{п}} - A_{\text{ш}})] / [p_2 A_{\text{п}} - p_3 (A_{\text{п}} - A_{\text{ш}})]},$$

где  $A_{\text{п}}$  и  $A_{\text{ш}}$  – эффективные площади поршевой и штоковой полостей цилиндра.

7.2.2 Обработка результатов испытаний гидромотора. Перепад давления на гидромоторе

$$\Delta p_{\text{м}} = p_6 - p_7.$$



Таблица 7.2 – Результаты исследований гидромотора

Настройка регулятора расхода (номер серии опытов)		I			II		
Номер опыта		1	...	6	1	...	6
Давление, МПа	$p_6$						
	$p_7$						
	$p_8$						
	$p_m = p_6 - p_7$						
Объем жидкости $W_{ж}$ , проходящей через расходомер РА, м <sup>3</sup>		$5 \cdot 10^{-3}$			$5 \cdot 10^{-3}$		
Время $t$ прохождения объема $W_{ж}$ жидкости, с							
Расход на выходе гидромотора $Q_{вых}$ , м <sup>3</sup> /с							
Объем $W_6$ жидкости, поступившей в мерный цилиндр, м <sup>3</sup>		$10 \cdot 10^{-6}$			$10 \cdot 10^{-6}$		
Время $t_6$ поступления объема $W_6$ жидкости, с							
Расход утечек в дренажную линию $Q_{ут.д}$ , м <sup>3</sup> /с							
Действительный расход через гидромотор $Q_m$ , м <sup>3</sup> /с							
Показание тахометра $T_ч$							
Частота вращения вала гидромотора $n_m$ , с <sup>-1</sup>							
Мощность, потребляемая гидромотором $N_m$ , Вт							
Мощность насоса $N_n$ , Вт							
КПД гидромотора	$\eta_m$						
	$\eta_{м.о}$						
	$\eta_{м.гм}$						
Момент на валу гидромотора $M_m$ , Н·м							

## Расход на выходе гидромотора

$$Q_{\text{вых}} = \frac{W_{\text{ж}}}{t}$$

## Расход утечек в дренажную линию

$$Q_{\text{ут.д}} = \frac{W_6}{t_6}$$

## Действительный расход через гидромотор

$$Q_m = Q_{\text{вых}} + Q_{\text{ут.д}}$$

Частота вращения вала гидромотора (равна частоте вращения вала насоса Н2)

$$n_m = 0,5 T_ч$$



Мощность  $N_M$ , потребляемая гидромотором, вычисляется на основе выражения

$$N_M = Q_M \Delta p_M,$$

где  $\Delta p_M$  – перепад давления на гидромоторе,  $\Delta p_M = p_6 - p_7$ .

Полезная мощность гидромотора  $N_{M.п} = N_H$  (где  $N_H$  – мощность насоса Н2 (мощность на валу насоса Н2)). В качестве насоса Н2 используется шестеренный насос НШ10-3 (рабочий объем  $V_o = 10 \text{ см}^3$ , гидромеханический КПД  $\eta_{Г.М} = 0,89$ ).

Мощность насоса

$$N_H = \frac{V_o n p_8}{\eta_{ГМ}}.$$

Тогда КПД гидромотора

$$\eta_M = \frac{N_H}{N_M}.$$

Объемный КПД гидромотора

$$\eta_{M.о} = \frac{n_M V_{о.М}}{Q_M}.$$

Гидромеханический КПД гидромотора

$$\eta_{M.ГМ} = \frac{\eta_M}{\eta_{M.о}}.$$

Момент на валу гидромотора

$$M_M = \eta_{M.ГМ} V_{о.М} \Delta p_M / (2 \pi).$$

Результаты вычислений занести в таблицу 7.2 и **построить графические зависимости**  $n_M = f_1(M_M)$ ,  $\eta_M = f_2(M_M)$  и  $\eta_{M.о} = f_3(M_M)$  для обеих серий опытов.



### ***Контрольные вопросы***

- 1 Устройство стенда.
- 2 Классификация и устройство гидроцилиндров и гидромоторов.  
Обозначения на схемах гидравлических принципиальных.
- 3 Основные технические параметры и характеристики гидроцилиндров и гидромоторов.
- 4 Методика испытаний по определению механического и объемного КПД гидроцилиндра.
- 5 Методика испытаний гидромотора.
- 6 Анализ результатов исследований.



## 8 Лабораторная работа № 7. Изучение устройства и определение характеристик гидрораспределителей

**Цель работы:** изучение устройства и экспериментальное определение характеристик гидрораспределителей.

### 8.1 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить устройство стенда «Гидравлическая аппаратура» и основные теоретические положения [1]. Работа выполняется на стенде «Гидравлическая аппаратура».

**Объектом испытаний** в данной работе является трехпозиционный пятилинейный распределитель с ручным управлением. Условный проход его  $d_y = 6$  мм. По схеме испытываемый распределитель в основном соответствует представленному в [1]. Единственное важное отличие заключается в том, что у испытываемого распределителя в нейтральной позиции золотника вход Р соединен со сливом.

*8.1.1 Подготовка установки к испытаниям по определению расходно-перепадной характеристики.* Перед включением стенда необходимо собрать гидравлическую схему исследуемой подсистемы. Для этого следует (см. [1]), используя эластичный трубопровод с ответвлением, соединить выход регулятора расхода PP1 (разъем R1) со входом распределителя Р (разъем R8), а ответвление подключить к блоку TR1 (разъем R2). Выход распределителя (разъем R10) вторым эластичным трубопроводом с ответвлением соединить с регулируемым дросселем ДР (разъем RK12), ответвление подключить к блоку TR2 (разъем R3). Соединение необходимо обеспечить таким образом, чтобы ответвления к манометрам находились со стороны распределителя Р, что позволит более точно измерять давления на его входе и выходе.

Распределитель необходимо переключить в рабочую позицию, в которой обеспечивается прохождение жидкости со входа (разъем R8) на выход (разъем R10).

Регулятор расхода PP1 следует настроить на минимальный расход (повернуть маховик управления до ограничения против часовой стрелки).

*8.1.2 Определение расходно-перепадной характеристики распределителя.* Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), электронного секундомера (тумблер «Вкл.»).

Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин..

При различных настройках регулятора расхода PP1 провести шесть опытов.

В каждом опыте необходимо регистрировать:

- давление на входе распределителя  $p_{вх}$  (по манометру МН3);
- давление на выходе распределителя  $p_{вых}$  (по манометру МН4);
- время  $t$  прохождения через расходомер РА заданного объема жидкости  $W_{ж}$  (с помощью электронного секундомера);
- температуру рабочей жидкости  $t_{ж}$  (по термометру Т).

Величиной объема  $W_{ж}$  жидкости необходимо задаться, приняв, например,  $W_{ж} = 10 \text{ дм}^3$ .

Результаты измерений записать в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Результаты экспериментального определения расходно-перепадной характеристики распределителя

Параметры	Номер опыта $i$					
	1	2	3	4	5	6
Давление на входе $p_{вх}$ , МПа						
Давление на выходе $p_{вых}$ , МПа						
Время $t$ , с						
Объем жидкости $W_{ж}$ , $\text{дм}^3$	10					
Температура жидкости $t_{ж}$ , $^{\circ}\text{C}$						
Расход через распределитель $Q$ , $\text{дм}^3/\text{с}$						
Перепад давления на распределителе $\Delta p$ , МПа						
Кинематическая вязкость жидкости $\nu$ , $\text{мм}^2/\text{с}$						
Коэффициент местного сопротивления распределителя $\zeta$						
Потери мощности на распределителе $N_{пот}$ , Вт						

Следует иметь в виду, что значения  $\Delta p$ ,  $\zeta$  и  $N_{пот}$  определяются в рассматриваемом случае лишь при одиночном прохождении рабочей жидкости через распределитель – со входа Р на выход А.

После выполнения всех опытов необходимо отключить питание секундомера и электродвигателя.

**8.1.3 Подготовка установки к испытаниям по определению утечек в распределителе.** При сборке схемы исследуемой подсистемы необходимо трубопроводом с ответвлением соединить регулятор расхода РР1 (разъем R1) со входом распределителя Р (разъем R8), а ответвление подключить к блоку TR1 (разъем R2). Ответвление к блоку TR1 (манометру МН3) должно находиться у распределителя Р.

Слив с распределителя (разъем R9) необходимо простым трубопроводом соединить с разъемом R13 мерного бака Б2.

Регулятор расхода РР1 следует настроить на максимальный расход (повернуть маховик управления до ограничителя по часовой стрелке).

Переключить распределитель в рабочую позицию.



8.1.4 *Определение расхода утечек в распределителе.* Включить электродвигатель и питание электронного секундомера.

Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

При различных настройках напорного клапана КП1 провести пять опытов.

В каждом опыте необходимо регистрировать:

- величину давления  $p$  (по манометру МНЗ);
- время  $t$  поступления в мерный бак объема жидкости  $W_{ж}$ ;
- температуру рабочей жидкости  $t_{ж}$ .

Давление  $p$  изменять в пределах 2...6 МПа. Величину  $W_{ж}$  принять равной 10 дм<sup>3</sup>.

Результаты измерений записать в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – Результаты экспериментального определения утечек в распределителе

Параметры	Номер опыта $i$					
	1	2	3	4	5	6
Давление $p$ , МПа						
Время $t$ , с						
Температура жидкости $t_{ж}$ , °С						
Объем жидкости $W_{ж}$ , см <sup>3</sup>	10					
Расход утечек $Q_{ут}$ , см <sup>3</sup> /с						
Кинематическая вязкость жидкости $\nu$ , мм <sup>2</sup> /с						

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

## 8.2 *Обработка результатов*

Расход жидкости через распределитель

$$Q = \frac{W_{ж}}{t} \quad (8.1)$$

Расход утечек  $Q_{ут}$  (см. таблицу 8.2) определяется также по формуле (8.1).

Кинематическая вязкость жидкости определяется по графику  $\nu = f(t_{ж})$ , имеющемуся в лаборатории (в гидравлической системе стенда используется минеральное масло для гидрообъемных передач МГЕ-46 В).

Перепад давления на распределителе

$$\Delta p = p_{вх} - p_{вых}$$



Коэффициент местного сопротивления распределителя

$$\zeta = \frac{\Delta p \cdot \pi^2 \cdot d^4}{8 \cdot \rho \cdot Q^2}, \text{ а величина потерь мощности } N_{\text{пот}} = \Delta p \cdot Q.$$

**По результатам испытаний необходимо построить расходно-перепадную характеристику  $\Delta p = f(Q)$  и характеристики  $\zeta = f(Q)$ ,  $N_{\text{пот}} = f(Q)$  и  $Q_{\text{ут}} = f(p)$ .**

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Устройство лабораторного стенда.
- 2 Классификация и устройство гидрораспределителей.
- 3 Условные графические обозначения гидрораспределителей.
- 4 Основные параметры гидрораспределителей.
- 5 Методика определения гидравлических характеристик гидрораспределителей.
- 6 Анализ экспериментальных гидравлических характеристик распределителя.

## 9 Лабораторная работа № 8. Исследование характеристик объемного регулируемого гидропривода с поступательным движением выходного звена

**Цель работы:** изучение устройства регулируемого гидропривода с поступательным движением выходного звена (с дроссельным принципом регулирования); экспериментальное определение характеристик гидропривода.

### 9.1 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить основные теоретические положения [1]. Работа выполняется на стенде «Гидромашины и гидроприводы».

Объектом испытаний в данной работе является объемный гидропривод с поступательным движением выходного звена. Выходное звено привода – шток гидроцилиндра Ц1 [1]. Энергия, подводимая к гидроприводу, поступает к шестеренному насосу Н1 типа НШ10-3. Гидроцилиндр Ц1 установлен на стенде снизу. Обозначение гидроцилиндра – ГЦ 63.200.16.000 (диаметр цилиндра  $D = 63$  мм, ход штока  $h = 200$  мм, диаметр штока  $d = 25$  мм).

*9.1.1 Подготовка стенда к работе.* Перед включением стенда необходимо убедиться в том, что вентиль В1 (установлен снизу на баке слева) полностью открыт (маховик управления полностью вывернут против часовой стрелки).

Тумблеры управления гидрораспределителями Р1, Р2 и Р3 должны находиться в положении «Выкл.».

*9.1.2 Испытания гидропривода.* Включить питание стенда и электродвигателей М1 и М2. Дать возможность стенду поработать в течение 3...5 мин.

Включить питание секундомера, переключить с помощью тумблера SA3 секундомер в режим работы «Авт.».

Установить с помощью клапана КП2 давление в поршневой полости гидроцилиндра Ц2 (по манометру МН5), равное 2 МПа.

Тумблер управления распределителем Р1 установить в положение «Вкл.1».

При различных настройках регулятора расхода РР2 провести семь опытов. При проведении каждого опыта тумблер Р2 переключать в положение «Вкл.1». При этом шток нижнего цилиндра Ц1 будет выдвигаться, т. е. будет происходить рабочий ход, в течение которого следует выполнить все необходимые измерения.

Втягивание штока цилиндра Ц1 (холостой ход) обеспечивается при установке Р2 в положение «Вкл.2».

Первый опыт целесообразно начинать при минимальной скорости выдвижения штока цилиндра Ц1, что достигается поворотом маховика управления регулятором расхода РР2 против часовой стрелки.

Во время проведения каждого опыта необходимо измерять:

– давления  $p_{\text{вак}}$  по вакуумметру В и  $p_1, p_4, p_5$  по манометрам МН1, МН4 и МН5;

– время выдвижения штока цилиндра Ц1  $t_{\text{ц1}}$  по секундомеру (перед каждым опытом необходимо обнулять показания цифрового табло секундомера, воздействуя на кнопку «Сброс»);

– мощность  $N_9$  на входе электродвигателя М1 (по киловаттметру, одно деление равно 200 Вт).

Результаты необходимо записать в таблицу 9.1.

После выполнения всех опытов необходимо отключить питание секундомера, электромагнитов распределителей Р1 и Р2 (тумблеры установить в положение «Выкл.»), электродвигателей М1 и М2 и стенда.

Таблица 9.1 – Результаты испытаний регулируемого гидропривода с поступательным движением выходного звена

Но- мер опы- та	Давление, МПа				Время выдви- жения штока $t_{\text{ц}}$ , с	Показа- ние ки- ловатт- метра $N_9$ , Вт	Мощ- ность насоса $N_n$ , Вт	Ско- рость выдви- жения штока $V_{\text{ц}}$ , м/с	Нагруз- ка на штоке F, Н	Полезная мощность на штоке гидроци- линдра $N_n$ , Вт	КПД гид- ро- при- вода $\eta_{\text{гп}}$
	$p_{\text{вак}}$	$p_1$	$p_4$	$p_5$							
1											
...											
7											

## 9.2 Обработка результатов

Мощность насоса (подводимая к насосу)

$$N_n = \eta_9 N_9,$$

где  $\eta_9$  – КПД электродвигателя,  $\eta_9 = 0,82$ .

Скорость выдвижения штока гидроцилиндра Ц1 определяется по формуле

$$V_{\text{ц1}} = \frac{h}{t_{\text{ц}}},$$

где  $h$  – ход штока гидроцилиндра, м;

$t_{\text{ц}}$  – время выдвижения штока, с.

Нагрузка на штоке гидроцилиндра Ц1

$$F = \frac{\pi}{4} [p_5 D^2 - p_4 (D^2 - d^2)] / \eta_{\text{м.ц}},$$

где  $D$  и  $d$  – диаметры поршня и штока гидроцилиндра Ц1 соответственно, м;

$\eta_{\text{м.ц}}$  – механический КПД гидроцилиндра.

Полезную мощность  $N_{\text{п}}$  и КПД гидропривода  $\eta_{\text{гп}}$  необходимо вычислять по формулам  $N_{\text{п}} = F \cdot v_{\text{ц}}$  и  $\eta_{\text{гп}} = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{н}}}$ .

По данным таблицы 9.1 необходимо построить графическую зависимость энергетической характеристики  $\eta_{\text{гп}} = f(v_{\text{ц}})$ .

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Схема и устройство подсистемы стенда для исследований гидропривода с поступательным движением выходного звена.
- 2 Классификация объемных гидравлических приводов.
- 3 Принципы построения гидроприводов с дроссельным регулированием скорости выходного звена.
- 4 Возможные схемы установки дросселя, их достоинства и недостатки.
- 5 Виды статических и динамических характеристик.
- 6 Методика определения КПД гидропривода.
- 7 Анализ результатов исследований.



## Список литературы

1 Гидравлика: метод. рекомендации к выполнению работ по гидравлике / Сост. В. И. Мрочек. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2016. – 41 с.

2 Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод : учеб. пособие для вузов / Под ред. С. П. Стесина. – 3-е изд., стер. – М. : Академия, 2007. – 336 с.

3 **Лепешкин, А. В.** Гидравлика и гидропневмопривод : учеб. пособие. Ч. 2 : Гидравлические машины и гидропневмопривод / А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин, А. А. Шейпак ; под ред. А. А. Шейпака. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : МГИУ, 2007. – 352 с.

4 Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Объемные гидро- и пневмомашин и передачи : учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. В. В. Гуськова. – Минск : Выш. шк., 1987. – 310 с. : ил.

5 Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учебник / Т. М. Башта [и др.] ; под ред. Т. М. Башта. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1982. – 423 с. : ил.

6 **Медведев, В. Ф.** Гидравлика и гидравлические машины : учеб. пособие / В. Ф. Медведев. – Минск : Выш. шк., 1998. – 311 с.

7 **Васильченко, В. А.** Гидравлическое оборудование мобильных машин : справочник / В. А. Васильченко. – М. : Машиностроение, 1983. – 301 с. : ил.

8 Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Под общ. ред. Б. Б. Некрасова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Выш. шк., 1985. – 382 с. : ил.

