

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

ГИДРАВЛИКА И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГИДРОМЕХАНИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
21.03.01 «Нефтегазовое дело» дневной формы обучения*



Могилев 2025

УДК 532:62-82
ББК 30.123:34.447
Г46

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Транспортные и технологические машины»
«12» июня 2025 г., протокол № 11

Составитель канд. техн. наук, доц. А. П. Смоляр

Рецензент Ю. С. Романович

Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов
направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» дневной формы обу-
чения.

Учебное издание

ГИДРАВЛИКА И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГИДРОМЕХАНИКА

Ответственный за выпуск

И. В. Лесковец

Корректор

А. А. Подошевка

Компьютерная верстка

Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2025

Содержание

Введение	4
1 Лабораторная работа № 1. Изучение устройства и принципа работы лабораторного стенда.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Определение вязкости жидкости.....	9
3 Лабораторная работа № 3. Измерение давления и расхода потока жидкости.....	12
4 Лабораторная работа № 4. Исследование и определение режима течения жидкости	14
5 Лабораторная работа № 5. Определение коэффициентов местных сопротивлений	17
6 Лабораторная работа № 6. Определение коэффициента гидравлического трения.....	18
7 Лабораторная работа № 7. Определение зависимости коэффициента расхода дросселя от режима течения жидкости	20
8 Лабораторная работа № 8. Экспериментальное определение скоростного и пьезометрического напора на участке трубопровода	22
9 Лабораторная работа № 9. Исследование нестационарных процессов истечения жидкости через дроссель.....	24
Список литературы	26

Введение

Гидравлика – дисциплина, изучающая вопросы, связанные с механическим движением жидкости в различных природных и техногенных условиях. Поскольку жидкость (и газ) рассматриваются как непрерывные и неделимые физические тела, то гидравлику часто рассматривают как один из разделов механики, так называемых сплошных сред, к каковым принято относить и особое физическое тело – жидкость.

Целью изучения дисциплины является ознакомление студентов с основными понятиями, законами и уравнениями гидравлики, гидростатики, газовой динамики и овладение практическими навыками проведения гидравлических расчетов.

Нефтегазовое дело связано с фильтрацией жидкости и газа в нефтяных и газовых пластах, трубопроводным транспортом жидкости и газа, хранением нефти и газа, бурением нефтяных и газовых скважин, разработкой нефтяных и газовых месторождений, процессом подготовки нефти и газа. Во всех рассматриваемых процессах объектом исследования являются жидкость и газ.

Задачи изучения дисциплины – освоение основных понятий и законов гидростатики, гидродинамики; выработка практических навыков выполнения гидравлических расчетов, необходимых при проектировании бурения скважин, разработки нефтяных и газовых месторождений, транспортировки нефти и газа.

Все отчёты оформляются в отдельной тетради в строгой последовательности выполнения работ, по согласованию с преподавателем допускается машинописное оформление отчетов. На титульном листе тетради указывается учебное заведение, кафедра, дисциплина, фамилия и инициалы студента, год оформления отчета.

Отчет содержит название, исходные данные к расчету, ход решения задач с обязательной расшифровкой принятых обозначений, необходимые пояснения к задаче, кинематические и расчетные схемы. После выбора сборочной единицы указывается ее краткая техническая характеристика. После проведения расчетов проводится анализ результатов и дается заключение о работоспособности механизма.

До выполнения лабораторной работы студент самостоятельно изучает методические рекомендации к ней, используя необходимые источники литературы и материалы лекций.

После завершения лабораторной работы каждый студент индивидуально защищает ее у преподавателя. При защите отчета оцениваются качество и полнота его содержания, знания, умения и навыки студента, приобретенные во время выполнения работы.

Отработка лабораторных занятий производится согласно разработанному кафедрой графику отработки занятий после предоставления преподавателю разрешающего документа, подписанного деканом или его заместителем.

1 Лабораторная работа № 1. Изучение устройства и принципа работы лабораторного стенда

Цель работы: изучить конструкцию стенда и способы проведения на нем лабораторных испытаний.

1.1 Общие сведения

На рамной конструкции стенда (рисунок 1.1), выполненной в виде одностороннего базиса со столом 2, расположены гидropанель 3 и панель электроизмерений и управления 10. На панели электроизмерений и управления размещена схема гидравлическая принципиальная 11. Стенд имеет жесткую конфигурацию, не требующую перед проведением занятия каких-либо сборочных работ. В состав стенда входит гидростанция.

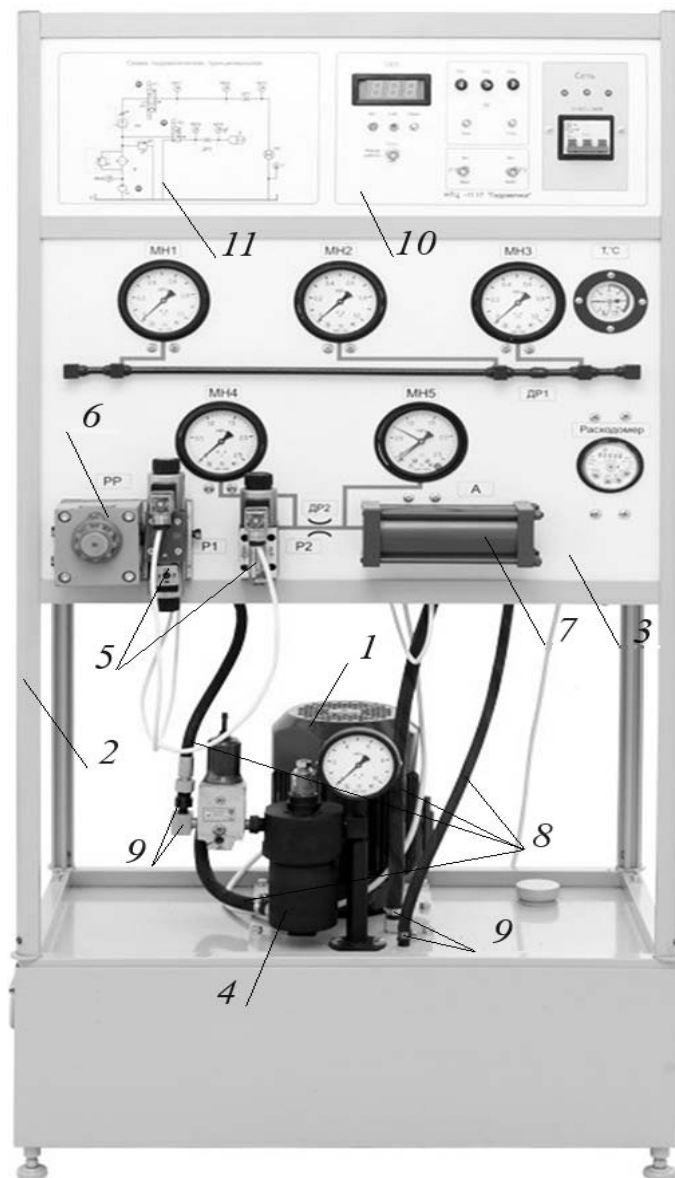


Рисунок 1.1 – Общий вид стенда

На стенде (см. рисунок 1.1) установлены:

- трехфазный электродвигатель 1;
- шестеренный насос;
- напорный гидроклапан;
- фильтр 4;
- два распределителя с электромагнитным управлением 5;
- двухлинейный регулятор расхода 6;
- гидроаккумулятор 7;
- монтажные плиты;
- присоединительная арматура 9;
- трубопроводы 8.

Обеспечение при испытаниях достаточно высоких давлений и скоростей течения жидкости делает изучаемые процессы наглядными, что способствует усвоению учащимися материала. На стенде предусмотрена возможность изменения в широких пределах расхода жидкости.

Информационно-измерительная система стенда позволяет определять давление, расход, температуру рабочей жидкости, время. На стенде установлено шесть манометров (один из них электроконтактный), скоростной расходомер интегрирующего типа, электронный секундомер, термометр с биметаллическим чувствительным элементом.

В ряде лабораторных работ полученные экспериментальные характеристики сопоставляются с результатами расчетов, что позволяет оценивать погрешности, допускаемые при расчетах.

Стенд предназначен для экспериментальных исследований:

- режимов течения жидкости;
- коэффициента гидравлического трения;
- коэффициентов местных гидравлических сопротивлений;
- истечения жидкости через дроссель;
- зависимости коэффициента расхода дросселя от режима течения и температуры рабочей жидкости.

Гидравлическая принципиальная схема стенда приведена на рисунке 1.2.

В состав стенда входят гидробак Б, шестеренный насос Н, фильтр Ф, предохранительный клапан КП, обратные клапаны КО1 и КО2, регулятор расхода РР, два распределителя Р1 и Р2, пружинный аккумулятор А, два дросселя ДР1 и ДР2, трубопроводы (в том числе исследуемые участки трубопроводов *аб*, *вг* и участок *де* с установленным дросселем ДР2). Привод насоса осуществляется от электродвигателя. Информационно-измерительная система стенда включает 10 манометров (МН1...МН8, манометр МН9 – электроконтактный с двумя управляемыми контактами, манометр МН10 используется для контроля давления на выходе насоса), расходомер скоростного типа РА, термометр Т и электронный секундомер.

Управление распределителями осуществляется тумблерами Р1 и Р2.

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

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

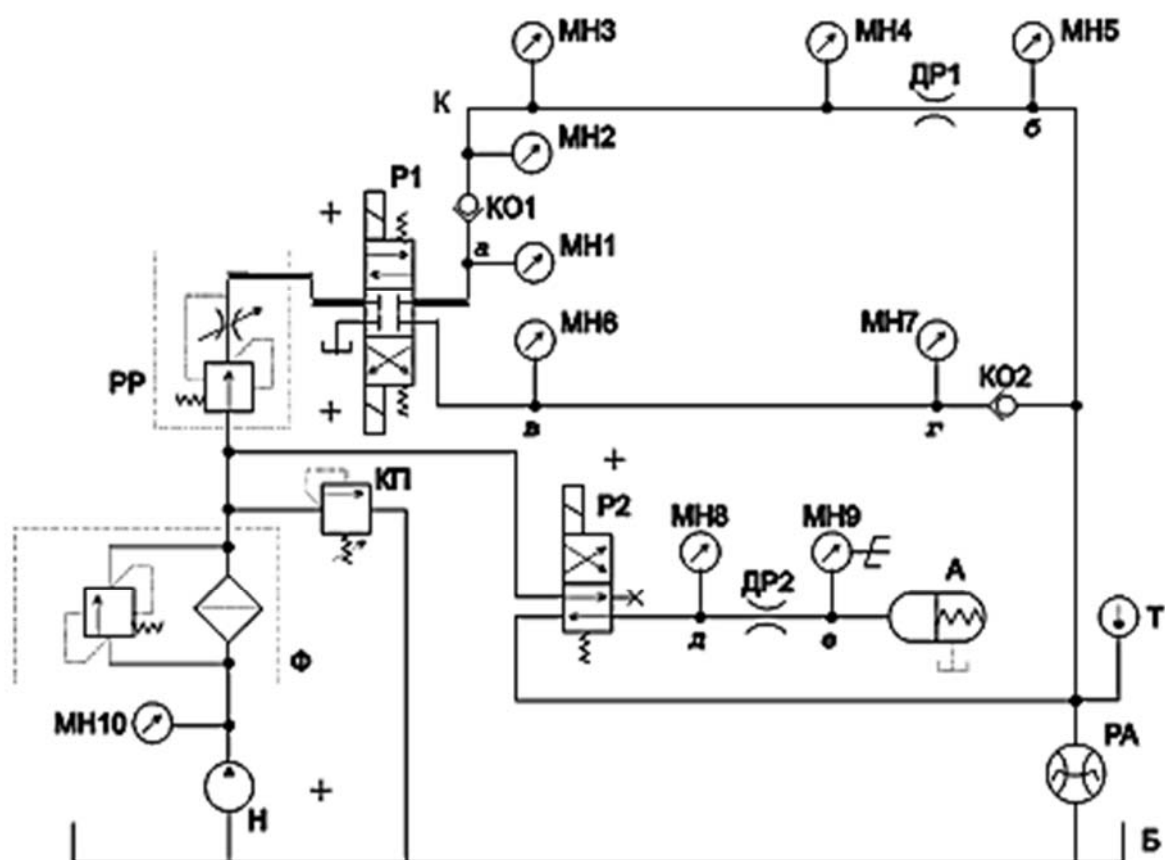


Рисунок 1.2 – Схема гидравлическая принципиальная стенда

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

При повороте тумблера установки режима в положение «АВТ» секундомер используется для подсчета времени заполнения и опорожнения рабочей полости пружинного аккумулятора А (при этом должно быть включено питание секундомера и счет, т. е. тумблеры постоянно установлены в положение «ВКЛ» и «СЧЕТ»). Включением и выключением секундомера управляет электроконтактный манометр МН9. После завершения процесса заполнения или опорожнения рабочей полости аккумулятора А фиксируется время процесса, а затем, нажав кнопку «СБРОС», можно сбросить показания табло.

Номинальное давление в системе 1,8 МПа (допускается до 2,0 МПа). Давление устанавливается с помощью регулировочного винта, установленного на предохранительном клапане. Винт должен быть надежно зафиксирован с помощью контргайки.

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

Напряжение питания стенда – 380 В, ток переменный с частотой 50 Гц. Напряжение питания электромагнитов распределителей – 24 В (постоянный ток).

Перед началом работы стенд необходимо заземлить.

При первом включении стенда (только при залитом в бак необходимом количестве масла) убедиться в правильном направлении вращения насоса по стрелке на кожухе. При неверном направлении вращения – поменять фазировку (наиболее просто при отключенном от сети стенде в клеммной коробке насоса поменять местами два любых фазных провода от кабеля подключения насоса). Для определения правильности подключения электродвигателя допускается его кратковременное включение (2...3 с).

Заправочная емкость гидробака – 60 дм³ (л). Рекомендуются рабочие жидкости – минеральные масла МГЕ-46, МГ-30у.

Меры безопасности

1 При эксплуатации стенда необходимо соблюдать Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

2 Стенд эксплуатировать в помещении без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.

3 Включение питания стенда и выполнение лабораторных работ производить только после разрешения преподавателя.

4 Сборку электрических схем для проведения лабораторной работы и техническое обслуживание производить при отключенном питании стенда.

5 Корпус стенда должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не более 4 Ом.

6 При замене предохранителя или перед вскрытием задней крышки необходимо отключить стенд от питающей сети.

Контрольные вопросы

1 Устройство и назначение лабораторного стенда.

2 Перечислите основные требования техники безопасности при работе на стенде.

3 Перечислите основные гидроэлементы, обозначенные на принципиальной гидросхеме.

4 Назначение гидравлических элементов, входящих в состав стенда.

5 Последовательность работы на стенде.

2 Лабораторная работа № 2. Определение вязкости жидкости

Цель работы: определение вязкости жидкости при различных температурах и построение температурной кривой $y = f(T)$.

2.1 Общие сведения

Вязкость – это способность жидкости сопротивляться сдвигу, т. е. свойство, обратное текучести (более вязкие жидкости являются менее текучими). Вязкость проявляется в возникновении касательных напряжений (напряжений трения). В этом случае происходит торможение потока жидкости, обусловленное ее вязкостью. Причем скорость движения жидкости в слое тем ниже, чем ближе он расположен к стенке. Согласно гипотезе Ньютона касательное напряжение, возникающее в слое жидкости на расстоянии y от стенки, определяется зависимостью

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}, \quad (2.1)$$

где dv/dy – градиент скорости, характеризующий интенсивность нарастания скорости v при удалении от стенки (по оси y);

μ – динамическая вязкость жидкости.

Динамическая вязкость жидкости измеряется в паскаль-секундах либо в пуазах ($1 \text{ Пз} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$). Однако на практике более широкое применение нашла кинематическая вязкость:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (2.2)$$

Единицей измерения последней в системе СИ является квадратный метр в секунду или более мелкая единица квадратный сантиметр в секунду, которую принято называть стоксом ($1 \text{ Ст} = 1 \text{ см}^2/\text{с}$). Для измерения вязкости также используются сантистоксы ($1 \text{ сСт} = 0,01 \text{ Ст}$).

Вязкость жидкостей существенно зависит от температуры, причем вязкость капельных жидкостей с повышением температуры падает, а вязкость газов – растет. Это объясняется тем, что в капельных жидкостях, где молекулы расположены близко друг к другу, вязкость обусловлена силами молекулярного сцепления. Вязкость жидкостей зависит также от давления, но это изменение незначительно, и в большинстве случаев его не учитывают.

Вискозиметр Энглера применяется для определения вязкости капельных жидкостей, вязкость которых выше вязкости воды. Он относится к разряду условных приборов, в которых вязкость определяется по отношению к вязкости известной жидкости (дистиллированной воды). Вискозиметр представляет собой два концентрически вставленных друг в друга резервуара в соответствии с рисунком 2.1. Основной частью вискозиметра является колба I с вмонтированным

в ее дно суживающимся насадком 3. Площади сечения насадка на входе и выходе постоянны и равны 6,6 и 6,16 мм² соответственно. На внутренней поверхности ванны имеется три заостренных крючка-штифта 4, с помощью которых осуществляется контроль уровня измеряемой жидкости. Входное отверстие насадка закрывается стержнем 7. Сосуд имеет крышку 5 с отверстиями для запорного стержня и термометра 6. Латунная ванна помещается в водяную баню 2, которая оборудована электроподогревающим устройством 9 и мешалкой. Температура воды в бане контролируется с помощью термометра 6. Имеется круглая площадка для мерного стакана 8 емкостью 200...500 мл.

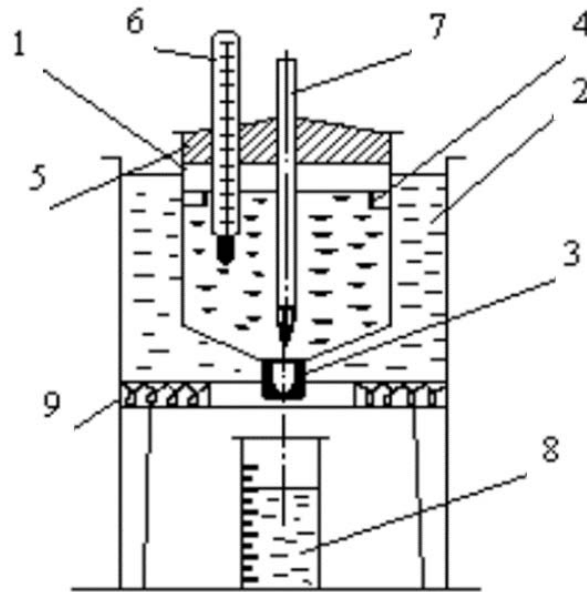


Рисунок 2.1 – Вискозиметр Энглера

2.2 Экспериментальная часть

Перед началом опыта необходимо установить прибор в строго горизонтальное положение. Если необходимо, воду, находящуюся в бане, подогреть последовательно до заданной температуры и поддерживать эту температуру в процессе проведения опыта, постоянно перемешивая жидкость (воду).

Входное отверстие насадка закрыть стержнем и во внутренний резервуар залить исследуемую жидкость с условием, чтобы свободная поверхность жидкости в ванне касалась остриев всех трех штифтов. Затем ванну закрыть крышкой, вставить термометр и, после стабилизации температуры по всему объему исследуемой жидкости, открыть входное отверстие насадка для выпуска жидкости, одновременно включив секундомер.

По достижении уровня жидкости в мерном стакане отметки 200 мл, секундомер выключить. (При изменении вязкости масла пена, находящаяся выше уровня, в расчет не принимается.) Измерения производить только при условии непрерывности струи. Если жидкость вытекает по каплям, то измерения вязкости

производить при высоких температурах, когда будет соблюдаться условие непрерывности. В этом случае вязкость жидкости при более низких температурах вычисляют графически или аналитически.

При определении вязкости очень густых жидкостей можно измерить время истечения 100 мл и умножить на коэффициент 2,35, что приблизительно соответствует времени истечения 200 мл этой жидкости. При каждой температуре жидкости опыты повторяются. Данные опыта заносят в таблицу 2.1. Условная вязкость испытываемой жидкости характеризуется градусами Энглера.

Таблица 2.1 – Обработка данных опыта

Величина	Обозначение	Единица измерения	Опыт				
			1	2	3	4	5
Температура жидкости	t	°C					
Объем	V	мл					
Время истечения	$\tau_{жс}$	с					
Вязкость	$^{\circ}E$	градус Энглера					
Кинематический коэффициент вязкости	ν	м ² /с					

Число градусов Энглера определяется отношением времени истечения (в секундах) 200 мл испытываемой жидкости при данной температуре из вискозиметра типа ВУ (Энглера) ко времени истечения (в секундах) 200 мл дистиллированной воды из того же прибора при нормальной температуре (20 °C) и находится по формуле

$$^{\circ}E = \frac{\tau_{жс}}{\tau_{ПР}}, \quad (2.3)$$

где $\tau_{жс}$ – время истечения 200 мл испытываемой жидкости через насадок при заданной температуре, с;

$\tau_{ПР}$ – время истечения 200 мл дистиллированной воды при 20 °C, с.

Для перехода от условной вязкости $^{\circ}E$ к кинематическому коэффициенту вязкости ν воспользуемся формулой

$$\nu = 0,0732 \cdot ^{\circ}E - \frac{0,0631}{^{\circ}E}. \quad (2.4)$$

После обработки опыта строится температурная кривая $\nu = f(T)$.

Обработку данных опытов необходимо свести в таблицу 2.1.

Контрольные вопросы

- 1 Жидкость (основные понятия). Физические свойства жидкости: плотность, удельный вес, сжимаемость (закон Гука).
- 2 Вязкость жидкости. Коэффициенты, характеризующие вязкость жидкости; их единицы измерения и формула взаимосвязи.
- 3 Каков физический смысл динамического коэффициента вязкости?
- 4 Сила внутреннего трения жидкости, формула ее определения.
- 5 Какими приборами измеряется вязкость жидкости?
- 6 Температурное расширение. Сжимаемость.
- 7 Поверхностное натяжение и капиллярные явления в жидкости. Растворимость газов в жидкостях (закон Генри).

3 Лабораторная работа № 3. Измерение давления и расхода потока жидкости

Цель работы: изучение манометров для измерения давления и экспериментального определения параметров потока жидкости.

3.1 Общие сведения

Давление и *расход* являются одними из самых важных понятий в гидравлике. Под давлением понимается сила, действующая на единицу поверхности:

$$P = \frac{F}{S}, \quad (3.1)$$

где P – давление, Па;

F – сила, Н;

S – площадь, м^2 .

Если давление определяется от абсолютного нуля, то его называют *абсолютным*, если от условного – *избыточным*. За условный нуль принимается атмосферное давление.

Под расходом понимается количество жидкости, протекающей в единицу времени через сечение трубопровода. Расход определяется как

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{S \cdot L}{t} = Sv, \quad (3.2)$$

где V – объем жидкости, протекающей через сечение за время t , м^3 ;

S – площадь сечения, м^2 ;

L – путь, проходящий жидкостью за время t , м;

v – средняя скорость движения жидкости через данное сечение, м/с.

Для настройки предохранительных клапанов, контроля технического состояния фильтров и другого гидрооборудования, а также для диагностирования гидросистемы и ее элементов необходимы приборы для измерения давления. Наибольшее распространение на мобильных машинах получили пружинные манометры – приборы для измерения избыточного давления.

Наиболее часто используются манометры с одновитковой трубчатой пружиной в соответствии с рисунком 3.1. Основной деталью прибора является изогнутая по дуге полая трубчатая пружина с запаянным концом, с одной стороны. Второй конец трубки соединяется с гидросистемой. Ввиду разной длины волокон с наружной и внутренней сторон трубки при действии измеряемого давления появляется разгибающий момент, стремящийся выпрямить трубку. При этом стрелка прибора, соединенная со свободным концом трубки через передаточный механизм, поворачивается на некоторый угол, пропорциональный измеряемому давлению. Для снижения колебаний стрелки при пульсирующем давлении штуцеры манометров обычно оснащены дросселирующим отверстием.

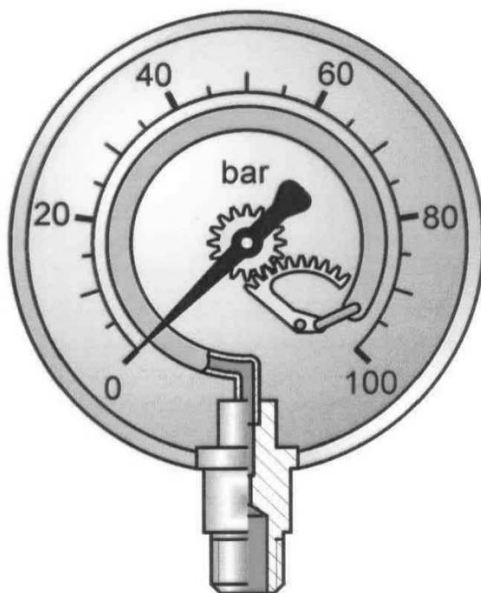


Рисунок 3.1 – Устройство манометра

3.2 Экспериментальная часть

Для проведения эксперимента необходимо:

- включить питание стенда;
- включить электродвигатель (кнопка «ПУСК»);
- включить распределитель (тумблер Р1 переместить в верхнее положение);
- дать возможность поработать стенду в течение 5...6 мин;
- произвести замеры времени прохождения заданного объема жидкости через трубопровод *аб* (внутренний диаметр трубопровода – 6 мм).

Опыты провести при различных расходах (расход изменяется с помощью

регулятора расхода РР). При каждом опыте замерять давление на одном из манометров МН1...МН5 (по указанию преподавателя).

Содержание отчета

В отчете приводятся результаты замеров расхода и средних скоростей, подсчитанных для каждого замера (таблица 3.1). Приводится схема манометра для измерения давлений. Строятся зависимости расхода и скорости жидкости от времени.

Таблица 3.1 – Результаты замеров и расчетов

Номер опыта	Время замера, с	Объем жидкости, дм ³	Расход, дм ³ /с	Средняя скорость, м/с	Давление, МПа

Контрольные вопросы

- 1 Что понимается под давлением? В каких единицах оно измеряется?
- 2 Что понимается под расходом? В каких единицах он измеряется?
- 3 Принцип действия и устройство манометра.
- 4 Какое давление (абсолютное или избыточное) измеряет манометр?
- 5 С какой целью отверстие штуцера манометра имеет сужение?

4 Лабораторная работа № 4. Исследование и определение режима течения жидкости

Цель работы: изучение режимов движения жидкости и их экспериментального определения.

4.1 Общие сведения

Существуют два режима движения жидкости – *ламинарный* и *турбулентный*. В ламинарном (слоистом) потоке частицы жидкости движутся параллельно стенкам трубопровода, не препятствуя движению друг другу в соответствии с рисунком 4.1. При турбулентном (возмущенном) движении в потоке появляются завихрения. Частицы движутся беспорядочно, сталкиваясь и мешая движению других частиц жидкости.

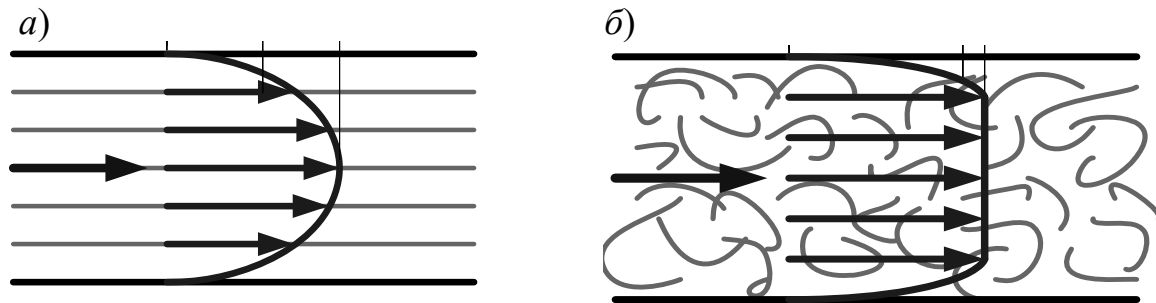
Режим движения определяется безразмерным критерием или числом Рейнольдса

$$Re = \frac{v_{cp} d_z}{\nu}, \quad (4.1)$$

где v_{cp} – средняя скорость потока, м/с;

d_z – гидравлический диаметр, для круглой трубы он равен внутреннему диаметру трубы, м;

ν – кинематическая вязкость, м²/с.



a – ламинарный; *б* – турбулентный

Рисунок 4.1 – Режимы движения жидкости

$$d_z = \frac{4S}{U}, \quad (4.2)$$

где S – площадь сечения трубы, м²;

U – периметр сечения, м.

Критическое значение числа Рейнольдса для гладких круглых труб $Re_{кр} \approx 2300$. При $Re < Re_{кр}$ режим движения ламинарный, при $Re > Re_{кр}$ – турбулентный.

4.2 Экспериментальная часть

Для проведения эксперимента необходимо:

- включить питание стенда;
- включить электродвигатель (кнопка «ПУСК»);
- включить распределитель тумблером Р1;
- дать возможность поработать стенду в течение 5...6 мин;
- произвести замеры времени прохождения заданного объема жидкости через трубопровод *аб* (внутренний диаметр трубопровода – 6 мм).

Опыты провести при различных расходах (расход изменяется с помощью регулятора расхода РР). В каждом опыте необходимо также фиксировать температуру рабочей жидкости для определения вязкости жидкости в соответствии с рисунком 4.2.

Содержание отчета

В отчете приводятся результаты замеров и расчетов (таблица 4.1), делаются выводы о режиме движения жидкости.

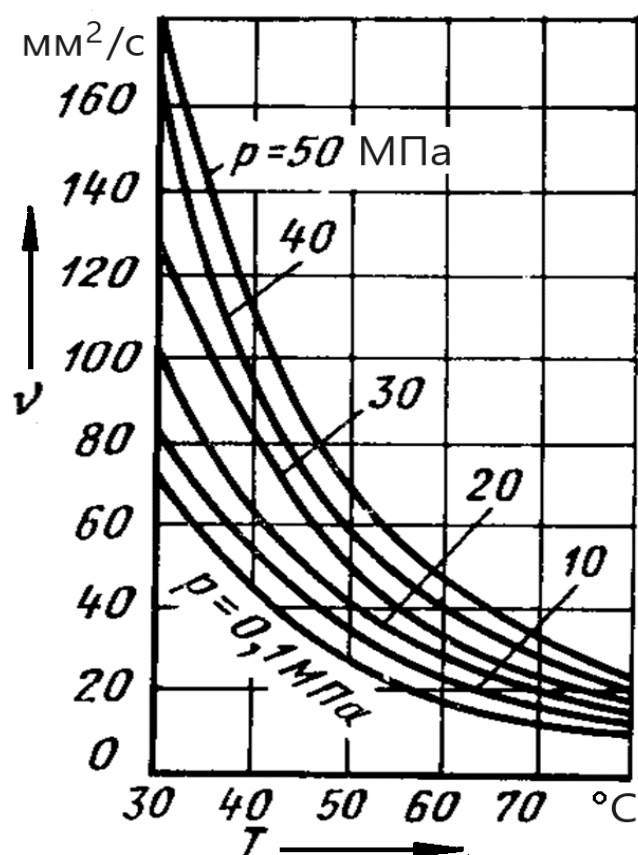


Рисунок 4.2 – Зависимость кинематической вязкости масла МГ-30 от температуры

Таблица 4.1 – Результаты замеров и расчетов

Номер опыта	Время замера, с	Объем жидкости, дм ³	Расход, дм ³ /с	Средняя скорость, мм/с	Кинематическая вязкость, мм ² /с	Критерий Рейнольдса

Контрольные вопросы

- 1 Особенности ламинарного движения жидкости.
- 2 Особенности турбулентного движения жидкости.
- 3 Что такое критерий Рейнольдса?
- 4 Как определяется гидравлический диаметр для некруглой трубы?
- 5 Чему равно критическое значение числа Рейнольдса?

5 Лабораторная работа № 5. Определение коэффициентов местных сопротивлений

Цель работы: экспериментальное определение коэффициента местного сопротивления обратного клапана, колена (поворот на 90°), дросселя (местные сопротивления расположены на участке трубопровода с внутренним диаметром трубопровода 6 мм).

5.1 Общие сведения

Передачу энергии посредством движущейся жидкости невозможно осуществить без потерь. Применительно к давлению различают два вида потерь: потери *в местных сопротивлениях* и потери *на трение* по длине трубопровода.

Места, где изменяются форма или поперечное сечение трубопровода, а также направление движения жидкости называются местными сопротивлениями. Потери давления в местных сопротивлениях определяются по формуле

$$\Delta p_m = \xi_m \frac{\rho v^2}{2}, \quad (5.1)$$

где ξ_m – коэффициент местного сопротивления;

ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³;

v – средняя скорость потока, м/с.

5.2 Экспериментальная часть

Объектами исследований на стенде являются местные гидравлические сопротивления, установленные в гидравлическом стенде на участке трубопровода *аб* между манометрами МН1...МН5.

Для проведения экспериментов необходимо:

- включить питание стенда;
- включить питание электродвигателя;
- включить тумблер Р1 в верхнее положение;
- дать возможность установке поработать в течение 5...6 мин.

Провести при различных расходах четыре-пять опытов. В каждом опыте измерять по манометрам МН1...МН5 давления, время прохождения через расходомер заданного объема рабочей жидкости и температуру жидкости.

Содержание отчета

В отчете приводятся результаты замеров и расчетов (таблица 5.1), строятся зависимости величин местных сопротивлений от расхода и давления, делаются выводы о полученных результатах.

Таблица. 5.1 – Результаты замеров и расчетов

Вид сопротивления	Время замера, с	Объем жидкости, дм ³	Расход, дм ³ /с	Средняя скорость, м/с	Перепад давления на сопротивлении, МПа	Коэффициент местного сопротивления

Контрольные вопросы

- 1 Что понимается под местным сопротивлением?
- 2 Как определяются потери давления в местных сопротивлениях?
- 3 Что характеризует коэффициент местного сопротивления?
- 4 Как влияет температура жидкости на потери давления в местном сопротивлении?
- 5 Как влияет скорость на потери давления в местном сопротивлении?

6 Лабораторная работа № 6. Определение коэффициента гидравлического трения

Цель работы: экспериментальное определение коэффициента гидравлического трения и установление зависимости его от числа Рейнольдса.

6.1 Общие сведения

Потери давления из-за трения жидкости о стенки трубопровода определяются по формуле

$$\Delta p_{тр} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho v^2}{2}, \quad (6.1)$$

где l , d – длина и диаметр рассматриваемого участка трубопровода соответственно, мм;

ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³;

v – средняя скорость потока, м/с;

λ – коэффициент Дарси.

При ламинарном режиме коэффициент Дарси однозначно определяется числом Рейнольдса:

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (6.2)$$

При турбулентном режиме, помимо числа Рейнольдса, коэффициент Дарси зависит еще и от относительной шероховатости внутренней поверхности трубы

Δ / d , т. е. $\lambda = f(\text{Re}, \Delta / d)$, где Δ – средняя величина неровностей внутренней поверхности трубы. Универсальной формулой, учитывающей оба фактора, является формула Альтшуля:

$$\lambda_m = 0,11 \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (6.3)$$

6.2 Экспериментальная часть

Коэффициент гидравлического трения определяется на участке *вз* трубопровода.

Для проведения экспериментов необходимо:

- включить питание стенда;
- включить питание электродвигателя;
- включить тумблер Р1 в нижнее положение;
- дать возможность поработать установке в течение 5...6 мин.

Опыты провести при различных значениях расхода. В каждом опыте необходимо регистрировать по манометрам МН6 и МН7 давления, а также время прохождения через расходомер заданного объема рабочей жидкости и температуру жидкости.

Содержание отчета

В отчете приводятся результаты замеров и расчетов (таблица 6.1), строятся зависимости коэффициента Дарси и потерь давления в трубопроводе от скорости движения жидкости, делаются выводы о полученных результатах.

Таблица 6.1 – Результаты замеров и расчетов

Номер опыта	Скорость движения жидкости	Критерий Рейнольдса	Режим движения жидкости	Коэффициент Дарси	Потери давления в трубопроводе, МПа	
					расчетные	экспериментальные

Контрольные вопросы

- 1 От чего зависит коэффициент Дарси при ламинарном режиме?
- 2 От чего зависит коэффициент Дарси при турбулентном режиме?
- 3 Оцените влияние длины трубопровода на потери давления.
- 4 Оцените влияние диаметра трубопровода на потери давления.
- 5 Как влияет скорость на потери давления по длине трубопровода?

7 Лабораторная работа № 7. Определение зависимости коэффициента расхода дросселя от режима течения жидкости

Цель работы: экспериментальное определение коэффициента расхода дросселя и исследование влияния на него режима течения жидкости.

7.1 Общие сведения

К дросселям, используемым в гидросистемах строительных и дорожных машин, работающим в условиях широкого температурного диапазона, предъявляется следующее требование: форма проходного сечения дроссельного канала не должна значительно изменять коэффициент расхода жидкости при измерении теплового режима работы. Этому требованию наиболее полно отвечает квадратичный дроссель в виде тонкой шайбы с малым отверстием, установленной на пути движения жидкости в соответствии с рисунком 7.1. Перепад давления на таком дросселе пропорционален квадрату скорости движения жидкости, что нашло отражение в названии дросселя.

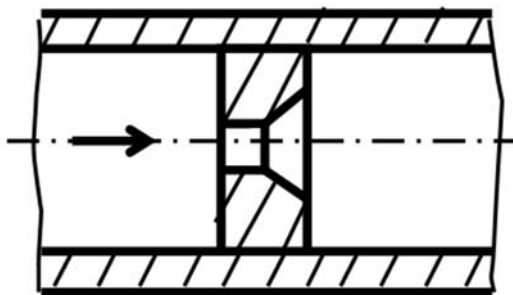


Рисунок 7.1 – Схема квадратичного дросселя

Опыты провести при разных значениях расхода. В каждом опыте необходимо регистрировать по манометрам МН4 и МН5 давления, а также время прохождения через расходомер заданного объема рабочей жидкости. Опыты провести при различных расходах (расход изменять с помощью регулятора расхода РР).

Количество жидкости, проходящей через такой дроссель, можно определить по формуле

$$Q = \mu S \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad (7.1)$$

где μ – коэффициент расхода, $\mu = 0,64 \dots 0,75$;

S – площадь проходного отверстия дросселя, м^2 ;

Δp – перепад давления на дросселе, Па ;

ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м^3 .

7.2 Экспериментальная часть

Объектом испытаний является дроссель ДР1, установленный на участке *аб* трубопровода (диаметр трубопровода – 6 мм, диаметр дросселя – 3 мм).

Для проведения экспериментов необходимо:

- включить питание стенда;
- включить питание электродвигателя;
- включить тумблер Р1 в верхнее положение;
- дать возможность поработать установке в течение 5...6 мин.

Опыты провести при разных значениях расхода. В каждом опыте необходимо регистрировать по манометрам МН4 и МН5 давления, а также время прохождения через расходомер заданного объема рабочей жидкости. Опыты провести при различных расходах (расход изменять с помощью регулятора расхода РР).

Содержание отчета

В отчете приводятся результаты замеров и расчетов (таблица 7.1), строятся зависимости перепада давления на дросселе и коэффициента расхода дросселя от расхода, делаются выводы о полученных результатах.

Таблица 7.1 – Результаты замеров и расчетов

Номер опыта	Режим движения жидкости	Расход, $\text{дм}^3/\text{с}$	Перепад давления на дросселе, МПа	Коэффициент расхода

Контрольные вопросы

- 1 Почему на дросселе возникает перепад давления?
- 2 Что представляет собой квадратичный дроссель?
- 3 Почему в гидроприводах строительно-дорожных машин используется квадратичный дроссель?
- 4 Влияет ли тепловой режим на работу дросселя?
- 5 Как определяется расход через квадратичный дроссель?

8 Лабораторная работа № 8. Экспериментальное определение скоростного и пьезометрического напора на участке трубопровода

Цель работы: уяснение физической сущности полного напора и его составляющих: скоростного (динамического), пьезометрического и геометрического напоров, а также экспериментальное определение скоростного и пьезометрического напоров на участке трубопровода.

8.1 Общие сведения

Идеальной называется жидкость, которая не сопротивляется ни разрыву (сцепление между частицами равно нулю), ни сдвигу (трение между частицами равно нулю), но не изменяет своего объема под действием сжимающих сил.

Уравнение Бернулли для любого сечения потока идеальной жидкости имеет следующий вид:

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z = \text{const}, \quad (8.1)$$

где $v^2 / 2g$ – скоростной напор;

$p / \rho g$ – пьезометрический напор;

z – геометрический напор.

Сумма скоростного, пьезометрического и геометрического напоров является постоянной величиной для любых сечений потока жидкости.

Уравнение Бернулли для сечений 1 и 2 потока реальной жидкости в соответствии с рисунком 8.1 будет иметь вид

$$\alpha_1 \frac{v_{cp1}^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \alpha_2 \frac{v_{cp2}^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \Sigma h, \quad (8.2)$$

где α – коэффициент Кориолиса;

Σh – суммарная потеря напора между сечениями 1 и 2.

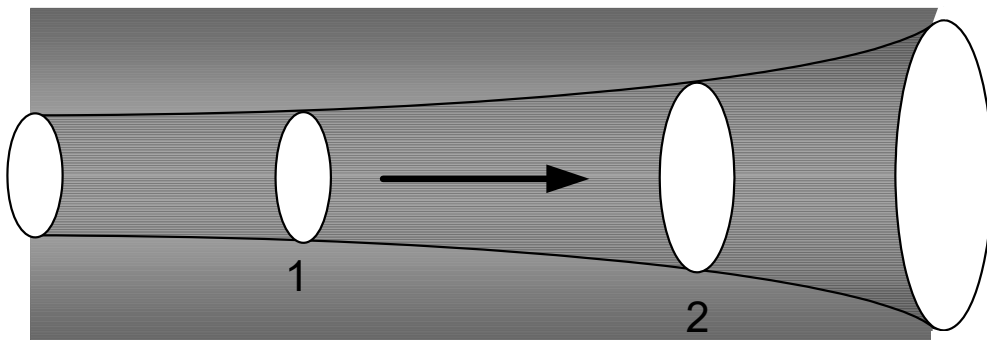


Рисунок 8.1 – Движение потока жидкости

Введение коэффициента Кориолиса вызвано тем обстоятельством, что скоростной напор, подсчитанный по средней скорости жидкости, в данном сечении не равен сумме скоростных напоров элементарных струек, составляющих этот поток:

$$\Sigma K_i = \alpha K_{cp} \text{ при } \alpha = 1,02 \dots 1,122. \quad (8.3)$$

8.2 Экспериментальная часть

Объектом исследования является участок *аб* трубопровода (внутренний диаметр трубопровода – 6 мм). К пяти сечениям трубопровода подключены манометры.

Для проведения экспериментов необходимо:

- включить питание стенда;
- включить, нажав кнопку «ПУСК», электродвигатель;
- тумблер Р1 переключить в верхнее положение;
- дать возможность установке поработать в течение 5...6 мин;
- для двух значений расхода (настроек регулятора расхода РР) произвести измерения давлений (по манометрам МН3...МН4). Также необходимо измерить расход рабочей жидкости.

Содержание отчета

В отчете приводятся результаты замеров и расчетов (таблица 8.1), делаются выводы о полученных результатах.

Таблица 8.1 – Результаты замеров и расчетов

Номер опыта	Скоростной напор, м	Пьезометрический напор, м	Потеря напора между сечениями 1 и 2, м

Контрольные вопросы

- 1 Как определить скоростной напор?
- 2 Как определить пьезометрический напор?
- 3 Как определить геометрический напор?
- 4 Для чего в уравнение Бернулли введен коэффициент Кориолиса?
- 5 Чем отличается идеальная жидкость от реальной?

9 Лабораторная работа № 9. Исследование нестационарных процессов истечения жидкости через дроссель

Цель работы:

- 1) экспериментальное определение времени заполнения рабочей полости пружинного аккумулятора через дроссель;
- 2) экспериментальное определение времени опорожнения рабочей полости пружинного аккумулятора через дроссель;
- 3) определение расчетных характеристик, определяемых в пп. 1 и 2, и сопоставление их с экспериментальными.

9.1 Общие сведения

Движение жидкости может быть разделено на установившееся и неустойчивое. Под установившимся движением понимают такое движение, при котором все характеристики движения в одной и той же точке пространства не меняются во времени. В том случае, если данное условие не выполняется, движение называется неустойчивым. При заполнении и опорожнении рабочей полости пружинного аккумулятора через гидродроссель течение жидкости является неустойчивым, т. к. расход жидкости через дроссель в каждый момент времени величина переменная, что обусловлено переменным перепадом давления на гидравлическом дросселе.

В пружинном гидроаккумуляторе величина давления жидкости создается усилием пружины и определяется по формуле

$$p = \frac{F_{пр.сж} + c \cdot L}{S_n}, \quad (9.1)$$

где $F_{пр.сж}$ – сила предварительного сжатия пружины;

c – жесткость пружины;

L – величина хода поршня;

S_n – площадь поршня аккумулятора.

Рассмотрим случай заполнения полости пружинного аккумулятора ($p_1 = \text{const}$):

$$t_{зан} = \frac{2S_n^2}{c \cdot \mu \cdot S_{др}^2 \sqrt{\frac{2}{\rho}}} \left(\sqrt{p_1 - \frac{F_{пр.сж}}{S_n}} - \sqrt{p_1 - \frac{F_{пр.сж} + c \cdot L}{S_n}} \right), \quad (9.2)$$

где μ – коэффициент расхода дросселя, $\mu = 0,64 \dots 0,75$;

$S_{др}$ – площадь проходного сечения дросселя;

ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м^3 ;

p_1 – давление перед дросселем.

Для случая опорожнения полости аккумулятора ($p_1 = 0$)

$$t_{on} = \frac{2S_n^2}{c \cdot \mu \cdot S_{op}^2 \sqrt{\frac{2}{\rho}}} \left(\sqrt{\frac{F_{пр.сж} + c \cdot L}{S_n}} - \sqrt{\frac{F_{пр.сж}}{S_n}} \right). \quad (9.3)$$

Давление жидкости в пружинном гидроаккумуляторе зависит от жесткости и величины перемещения пружины. Давление в аккумуляторе будет уменьшаться по мере уменьшения объема жидкости в аккумуляторе, т. к. усилие пружины зависит от величины сжатия.

9.2 Экспериментальная часть

Для проведения экспериментов необходимо включить питание стенда и питание электродвигателя.

Дать возможность установке поработать в течение 5...6 мин. После этого следует:

- тумблер включения режима секундомера переключить в положение «АВТ»;
- включить тумблеры управления секундомером в положения «ВКЛ» и «ПУСК».

Провести по пять-шесть опытов (заполнений и опорожнений рабочей полости пружинного аккумулятора). Для этого необходимо воздействовать на тумблер управления гидрораспределителем Р2. При установке этого тумблера в положение «ВКЛ» происходит заполнение полости аккумулятора, а при установке в положение «ВЫКЛ» – опорожнение этой полости (которое происходит под действием пружины, взаимодействующей с поршнем). Исследование процессов заполнения рабочей полости аккумулятора провести при различных давлениях в напорной линии насоса (давления изменять в пределах 0,4...1,8 МПа путем перенастройки клапана КП, контроль давления – по манометру МН10). В каждом опыте необходимо фиксировать время процесса. После завершения процесса секундомер автоматически останавливается. Перед началом следующего процесса целесообразно сбрасывать с помощью кнопки «СБРОС» показания секундомера.

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

9.3 Обработка результатов опыта

1 Рассчитать время наполнения (опорожнения) пружинного гидроаккумулятора, подставив текущие значения давлений в напорной линии насоса $p_{наг}$ для трех-пяти давлений настройки предохранительного клапана.

2 Экспериментально определить время наполнения (опорожнения) пружинного гидроаккумулятора.

3 Результаты расчетов занести в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Результаты замеров и расчетов

Номер опыта	$p_{наг}$, МПа	Расчетное значение		Экспериментальное значение	
		$t_{зан}$, с	$t_{он}$, с	$\Delta t_{зан}$, с	$\Delta t_{он}$, с

Контрольные вопросы

- 1 Что такое установившееся движение жидкости?
- 2 Каковы характеристики неустановившегося движения жидкости?
- 3 Какие параметры влияют на величину давления в пружинном гидроаккумуляторе?
- 4 Поясните физический смысл разницы формул для заполнения и опорожнения полости аккумулятора.
- 5 Как коэффициент расхода дросселя влияет на движение жидкости через гидродроссель?
- 6 Почему течение жидкости через дроссель при заполнении и опорожнении рабочей полости пружинного аккумулятора является неустановившимся?
- 7 Как изменение объема жидкости в аккумуляторе влияет на давление в системе?
- 8 В каких случаях может быть полезно использовать пружинный гидроаккумулятор в гидравлических системах?
- 9 Каковы преимущества и недостатки использования дросселей в системах с неустановившимся движением жидкости?
- 10 Объясните, как жесткость пружины влияет на работу пружинного гидроаккумулятора.
- 11 Как плотность рабочей жидкости влияет на расход через дроссель?

Список литературы

- 1 **Гиргидов, А. Д.** Механика жидкости и газа (гидравлика) : учебник / А. Д. Гиргидов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2021. – 704 с.
- 2 **Сазанов, И. И.** Гидравлика : учебник / И. И. Сазанов, А. Г. Схиртладзе, В. И. Иванов. – М. : КУРС ; ИНФРА-М, 2019. – 320 с.