

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Гидропневмоавтоматика»**

**Ю. А. Андреев, Д. В. Лаевский**

## **ГИДРАВЛИКА**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименному курсу для студентов  
специальности 1-36 12 01 «Проектирование  
и производство сельскохозяйственной техники»  
дневной и заочной форм обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

**Гомель 2013**

УДК 532(075.8)  
ББК 30.123я73  
А65

*Рекомендовано научно-методическим советом  
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 4 от 23.04.2013 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Сельскохозяйственные машины» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *В. Б. Попов*

**Андреев, Ю. А.**

А65 Гидравлика : лаборатор. практикум по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственных машин» днев. и заоч. форм обучения / Ю. А. Андреев, Д. В. Лаевский. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – 69 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://library.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-161-1.

Содержит необходимые для выполнения лабораторных работ общие сведения, описание экспериментальных установок, методики проведения экспериментов и обработки опытных данных.

Для студентов специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 532(075.8)  
ББК 30.123я73**

**ISBN 978-985-535-161-1**

© Андреев Ю. А., Лаевский Д. В., 2013  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2013

## **Общие указания по выполнению и оформлению лабораторных работ по гидравлике**

### ***Общие положения***

Данный практикум написан для студентов, обучающихся по специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники», в соответствии с программой курса «Гидравлика» и стандартом образования.

В данных методических указаниях представлены для выполнения лабораторные работы, цель которых – ознакомить студента с основными законами гидравлики и научить выполнять несложные экспериментальные исследования и расчеты гидравлических систем.

### ***Требования к выполнению лабораторных работ***

Лабораторные работы должны быть результатом самостоятельной и творческой работы студента. Все режимы работы экспериментальных установок задаются, а требуемые замеры выполняются студентом.

Техническое оформление лабораторных работ должно соответствовать требованиям ЕСКД.

Отчет по лабораторной работе должен быть написан на одной стороне листов формата А4 и отличаться краткостью и ясностью изложения, без сокращения фраз и ненужных пояснений.

В начале отчета должен быть представлен титульный лист установленного образца. По согласованию с преподавателем допускается оформление отчетов в ученических тетрадях.

Приведенные в начале каждой лабораторной работы теоретические положения необходимо изучить перед выполнением экспериментов. После защиты лабораторных работ отчет хранится на кафедре.

### ***Содержание отчета по лабораторным работам***

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) основные теоретические сведения;
- 3) схему и краткое описание конструкции экспериментальной лабораторной установки;
- 4) расчетные формулы по обработке результатов замеров;
- 5) таблицу замеров и результатов расчетов, а также необходимые графики и диаграммы;
- 6) вывод.

## *Указания по технике безопасности*

Инструктаж по технике безопасности при работе в лаборатории гидравлики и гидромашин проводится на первом лабораторном занятии.

Лабораторные работы выполняются на стендах, разработанных на кафедре «Гидропневмоавтоматика». При их выполнении следует соблюдать следующие правила:

1. К практическим занятиям в лаборатории гидравлики и гидромашин допускаются студенты, получившие инструктаж по технике безопасности у руководителя лабораторными занятиями с соответствующим оформлением его в журнале. Студенты, не прошедшие инструктаж, к работе в лаборатории не допускаются.

2. Включение и выключение стендов производится преподавателями или лаборантами.

3. Студентам запрещается входить в помещение лаборатории, самостоятельно включать электродвигатели насосов, открывать и закрывать задвижки трубопроводов, включать измерительные приборы и установки.

Эти работы должны выполняться либо обслуживающим персоналом лаборатории, либо студентом, но под наблюдением руководителя практических занятий.

4. Оборудование учебного зала лаборатории относится к разряду особо опасных в отношении поражения электротоком и поэтому студенты обязаны строго соблюдать правила защиты (заземление установок, диэлектрические коврики, низковольтное переносное освещение 12 В), уметь оказать помощь пострадавшим от электротока.

5. В процессе проведения опыта студент, допущенный к выполнению работы, должен находиться на своем рабочем месте, указанном преподавателем или лаборантом. Студенты, не знающие устройства опытной установки и порядка выполнения работы, к выполнению лабораторного опыта не допускаются.

6. При проведении опыта запрещается выполнение действий, не предусмотренных в разделах «Порядок выполнения работы» или не разрешенных преподавателем или лаборантом (например, постукивание по стеклянным пьезометрам, шевеление шлангов, регулировка подачи красителя и т. п.).

7. Окончив работу на установке, студент должен поставить в известность об этом руководителя практических работ или обслуживающий персонал лаборатории.

Категорически **запрещается**:

- оставлять без надзора стенд при работающем электродвигателе;
- проводить монтаж–демонтаж и устранять неисправности элементов гидросистемы, находящихся под давлением;
- пользоваться неисправными инструментами и приборами;
- переставлять (без согласования с преподавателем) оборудование.

К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, которые могут дать правильные ответы на контрольные вопросы данной работы. Для подготовки к лабораторным занятиям рекомендуется использовать представленные в разделе «Литература» учебники и учебные пособия.

# Лабораторная работа № 1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

*Цель работы:* ознакомиться с устройством денсиметров (ареометров), определить плотности нескольких рабочих жидкостей и сравнить их со справочными величинами; овладеть методикой определения кинематической вязкости жидкостей; определить коэффициент кинематической вязкости жидкости.

### 1.1. Общие сведения

К основным физическим свойствам жидкостей следует отнести те ее свойства, которые определяют особенности поведения жидкости при ее движении. Такими являются свойства, характеризующие концентрацию жидкости в пространстве; свойства, определяющие процессы деформации жидкости, величину внутреннего трения в жидкости при ее движении, поверхностные эффекты.

Важнейшим физическим свойством жидкости, определяющим ее концентрацию в пространстве, является **плотность** жидкости.

*Плотностью*  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) называют массу жидкости, заключенную в единице объема; для однородной жидкости определяется по следующей формуле:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где  $m$  – масса жидкости в объеме  $V$ .

Плотность характеризует инерционные свойства сплошной среды и в общем случае  $\rho = f(x, y, z, t)$ .

Величины плотности реальных капельных жидкостей в стандартных условиях изменяются в системе единиц СИ в широких пределах (табл. 1.1).

Таблица 1.1

**Плотность некоторых жидкостей при температуре 20 °С  
и атмосферном давлении 0,1 МПа**

Жидкость	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Жидкость	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Бензин	712–780	Масло минеральное	860–930
Спирт этиловый	789	Вода пресная	998,2
Керосин	790–860	Вода морская	1020–1030
Нефть	760–900	Глицерин безводный	1260
Топливо дизельное	831–861	Ртуть	13546

**Вязкость жидкостей и газов.** При движении реальной жидкости или газа они расходуют часть своей механической энергии на работу против сил внутреннего трения. Эти потери механической энергии носят название диссипации (потери) энергии и представляют собой необратимый переход кинетической энергии потока в тепловую энергию молекулярного движения.

*Вязкость* представляет собой свойство жидкости сопротивляться сдвигу ее слоев и проявляется в результате ее движения. Вязкость есть свойство противоположное текучести: более вязкие жидкости (глицерин, смазочные масла и т. д.) являются менее текучими, и наоборот.

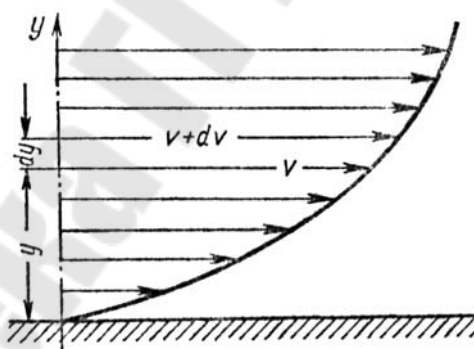


Рис. 1.1. Действие сил внутреннего трения

При течении вязкой жидкости вдоль твердой стенки происходит торможение потока, обусловленное вязкостью (рис. 1.1). Скорость  $v$  уменьшается по мере уменьшения расстояния  $y$  от стенки вплоть до  $v = 0$  при  $y = 0$ , а между слоями происходит проскальзывание, сопровождающееся возникновением касательных напряжений, так называемых напряжений трения.

Напряжения, возникающие при деформации сдвига, согласно гипотезе Ньютона пропорциональны градиенту скорости в движу-

щихся слоях жидкости. Таким образом, закон жидкого трения Ньютона имеет следующий вид:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy},$$

где  $\mu$  – коэффициент пропорциональности, получивший название динамической вязкости жидкости;  $dv$  – приращение скорости, соответствующее приращению координаты  $dy$ .

Динамическая вязкость жидкости имеет размерность Пуаз:

$$1 \text{ П} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,0102 \text{ кгс} \cdot \text{с}/\text{м}^2.$$

Помимо динамического коэффициента вязкости используется кинематический коэффициент вязкости:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}.$$

Кинематическая вязкость жидкости имеет размерность Стокс:

$$1 \text{ Ст} = 1 \text{ см}^2/\text{с} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Коэффициент вязкости является физической характеристикой сплошной среды и для нормальных жидкостей и всех газов (так называемых ньютоновских сплошных сред) не зависит от кинематических характеристик движения (т. е. от распределения скоростей).

Для смазочных масел и жидкостей, применяемых в системах гидропривода, кинематический коэффициент вязкости  $\nu_T$  при температуре  $T$  °С можно определить по следующей формуле:

$$\nu_T = \nu_{50} \cdot \left[ \frac{50}{T} \right]^n,$$

где  $\nu_{50}$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости при температуре 50 °С (табл. 1.2);  $n$  – показатель степени, зависящий от  $\nu_{50}$ :

$$n = \lg \nu_{50} + 2,7.$$



**Значения  $n$  в зависимости от кинематический коэффициент вязкости жидкости при температуре 50 °С**

$\nu_{50}$ , сСт	$n$	$\nu_{50}$ , сСт	$n$	$\nu_{50}$ , сСт	$n$
2,8	1,39	21,2	1,99	52,9	2,42
6,25	1,59	29,3	2,13	60,6	2,49
9,0	1,72	37,3	2,24	68,4	2,52
11,8	1,79	45,1	2,32	80,0	2,546

Вязкость жидкости измеряют при помощи вискозиметров.

Наиболее распространенным является вискозиметр Энглера, который представляет собой цилиндрический сосуд диаметром 106 мм с короткой трубкой диаметром 2,8 мм, встроенной в дно. Время  $t$  истечения 200 см<sup>3</sup> испытуемой жидкости из вискозиметра через эту трубку под действием силы тяжести, деленной на время  $t_{\text{вод}}$  истечения того же объема дистиллированной воды при 20 °С, выражает вязкость в градусах Энглера:  $1^{\circ}E = t/t_{\text{вод}}$ , где  $t_{\text{вод}} = 51,6$  с. Формула для пересчета градусов Энглера в стоксы в случае минеральных масел:

$$\nu = 0,073^{\circ}E - \frac{0,063}{^{\circ}E}.$$

## 1.2. Оборудование и приборы

При определении кинематической вязкости жидкостей применяется следующая аппаратура:

1. Наборы капиллярных стеклянных вискозиметров типа ВПЖ-2 (рис. 1.2, а). Внутренний диаметр капилляра: 0,99 мм и 0,73 мм.
2. Термометры стеклянные лабораторные группы 4.
3. Секундомер.

При определении плотности жидкостей применяется следующая аппаратура:

1. Набор денсиметров типа АОН (ареометры общего назначения) по ГОСТ 1848–81 с ценой деления  $20 \div 0,5$  кг/м<sup>3</sup> (рис. 1.2, б).
2. Стеклянные цилиндры, заполненные испытуемой рабочей жидкостью.
3. Термометр для определения температуры испытуемой рабочей жидкости.

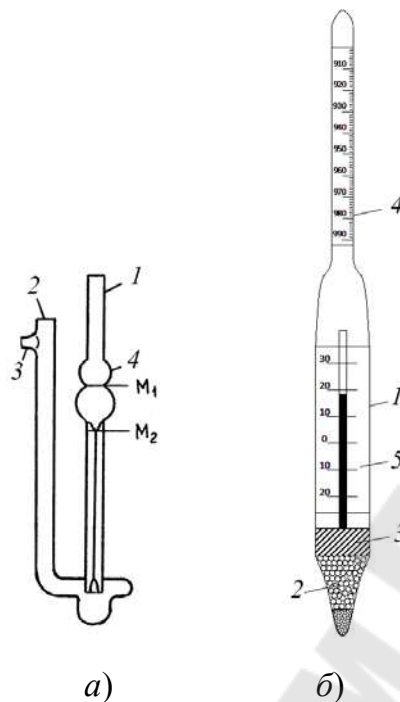


Рис. 1.2. Приборы для измерения: *a* – вискозиметр стеклянный капиллярный типа ВПЖ-2; *б* – ареометр типа АОН

### 1.3. Порядок проведения работы

#### 1.3.1. Определение вязкости жидкости

1. Перед определением вязкости вискозиметр следует тщательно промыть растворителем (бензин-растворитель (ГОСТ 443–76), бензин авиационный Б-70 (ГОСТ 1012–72), ацетон, спирт этиловый ректифицированный) и высушен. Рекомендуется после растворителя вискозиметр промыть дистиллированной водой и высушить пропусканием через прибор отфильтрованного от пыли воздуха.

2. Перед испытанием жидкость следует профильтровать через бумажный фильтр.

3. Вискозиметр наполнить испытуемой жидкостью и установить вертикально. На конец трубки *1* (рис. 1.2, *a*) надеть резиновую трубку с грушей (или другим устройством).

4. Пропустить жидкость через прибор для получения смазывающего слоя на внутренней поверхности прибора, таким образом, чтобы жидкость поднялась выше уровня  $M_1$  (рис. 1.2, *a*).

5. Измерить температуру окружающей среды по термометру.

6. Установить уровень жидкости так, чтобы мениск жидкости находился выше уровня  $M_1$ , примерно до середины расширения *4*, и

отсоединить грушу. Сообщить трубку  $l$  с атмосферой и определить время опускания мениска жидкости от метки  $M_1$  до  $M_2$ .

7. Во всех вискозиметрах произвести несколько измерений времени течения жидкости (минимум три раза).

### ***1.3.2. Измерение плотности жидкости***

1. Ознакомиться с набором денсиметров (ареометров) и определить возможный диапазон измерения плотности.

2. Измерить температуру рабочей жидкости.

3. В стеклянный цилиндр, диаметр которого больше диаметра поплавка денсиметра не менее чем в два раза, налить испытуемую жидкость.

4. Чистый и сухой денсиметр осторожно поместить в цилиндр с жидкостью, удерживая прибор за верхний конец. Испытание следует начинать с самых легких денсиметров. После того как прекратятся колебания денсиметра, произвести отсчет по его шкале по верхнему краю мениска. При этом глаз наблюдателя должен находиться на уровне мениска.

5. Вынуть денсиметр из цилиндра и удалить жидкость с его поверхности.

6. Определить плотность разных жидкостей.

## **1.4. Обработка опытных данных**

### ***1.4.1. Определение вязкости жидкости***

1. Вычислить среднее арифметическое значение времени течения жидкости в вискозиметре (с точностью до 0,1 с).

2. Определить коэффициент кинематической вязкости испытуемой жидкости по следующей формуле:

$$\nu = C \cdot t \cdot K, \text{ сСт},$$

где  $C$  – коэффициент, учитывающий изменение гидростатического напора жидкости в результате расширения ее при нагревании. Для вискозиметров типа ВПЖ-2 коэффициент равен  $C = 1$ ;  $t$  – среднее значение времени течения жидкости в вискозиметре, с;  $K$  – постоянная вискозиметра, сСт/с (указана на приборе).

3. Коэффициент кинематической вязкости жидкости вычисляют с точностью до четвертой значащей цифры (например, 1,255; 16,47; 193,1; 1735) при температуре опыта.

4. Полученные результаты занести в табл. 1.3 и, используя данные Приложений 1 и 2, определить вид рабочей жидкости.

Таблица 1.3

**Результаты измерений и расчетов вязкости жидкости**

№ п/п	Время течения жидкости $t$ , с				Температура $T$ , °С	Кинематический коэффициент вязкости, $\nu$ , сСт	Вид рабочей жидкости
	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_{\text{ср}}$			
1							
2							
...							
...							
...							

**1.4.2. Измерение плотности жидкости**

1. Для получения сравнительных результатов произвести перерасчет экспериментально полученных значений плотности по уравнению:

$$\rho_0 = \rho + \alpha_\rho \cdot \Delta T,$$

где  $\rho_0$  – плотность рабочей жидкости при температуре 20 °С, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность при температуре испытания, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta T$  – разность температуры опыта и нормальной температуры в 20 °С;  $\alpha_\rho$  – средняя температурная поправка плотности, кг/м<sup>3</sup> · °С.

Численные значения средней температурной поправки приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Значения средней температурной поправки  $\alpha_p$ 

Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Поправка на 1 °С $\alpha_p$ , кг/м <sup>3</sup> · °С	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Поправка на 1 °С $\alpha_p$ , кг/м <sup>3</sup> · °С
700 ÷ 710	0,897	851 ÷ 860	0,699
711 ÷ 720	0,884	861 ÷ 870	0,686
721 ÷ 730	0,870	871 ÷ 880	0,672
731 ÷ 740	0,857	881 ÷ 890	0,660
741 ÷ 750	0,844	891 ÷ 900	0,647
751 ÷ 760	0,831	901 ÷ 910	0,633
761 ÷ 770	0,818	911 ÷ 920	0,620
771 ÷ 780	0,805	921 ÷ 930	0,607
781 ÷ 790	0,792	931 ÷ 940	0,594
791 ÷ 800	0,778	941 ÷ 950	0,581
801 ÷ 810	0,765	951 ÷ 960	0,567
811 ÷ 820	0,752	961 ÷ 970	0,554
821 ÷ 830	0,738	971 ÷ 980	0,541
831 ÷ 840	0,725	981 ÷ 990	0,528
840 ÷ 850	0,712	991 ÷ 1000	0,515

Полученные значения сравнить со справочными данными.

2. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.5.

Таблица 1.5

## Результаты измерений и расчетов плотности жидкости

Вид жидкости	Температура, $T$ , °С	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Температурная поправка плотности, $\alpha_p$ , кг/м <sup>3</sup> · °С	Плотность при 20 °С, $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	
				Расчетная	Справочная

## 1.5. Контрольные вопросы

1. Что называется абсолютной и относительной плотностью?
2. По какой формуле определяется плотность?
3. В каких единицах измеряется плотность?
4. Как выражается зависимость плотности от температуры и давления?

5. Что характеризует плотность?
6. Чему равна плотность наиболее распространенных жидкостей?
7. Каковы основные методы опытного определения плотности рабочей жидкости?
8. Что такое денсиметр и для чего он используется?
9. Что называется вязкостью жидкости?
10. Как вязкость связана с текучестью?
11. Как выражается связь вязкости с напряжением, возникающим при деформациях сдвига в жидкости?
12. Что такое коэффициент динамической вязкости? Какова его размерность?
13. Какая связь существует между коэффициентами динамической и кинематической вязкости?
14. В каких единицах измеряется динамическая и кинематическая вязкость в системе СИ?
15. Почему вязкость называется важнейшим свойством рабочих жидкостей?
16. Какие единицы измерения вязкости наиболее часто используются в инженерных расчетах?
17. Как определить вязкость масел при любой температуре?
18. Какими приборами измеряется вязкость?

## Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

**Цель работы:** ознакомиться с основными теоретическими сведениями, с устройством опытной установки, научиться измерять гидростатическое давление различными измерительными приборами.

#### 2.1. Общие сведения

Когда жидкость находится в равновесии, то под действием внешних сил в жидкости возникает давление. Давление в неподвижной жидкости называется *гидростатическим давлением*. Оно обладает двумя свойствами:

- 1) на внешней поверхности жидкости оно всегда направлено по нормали внутрь объема жидкости;
- 2) в любой точке внутри жидкости оно по всем направлениям одинаково, т. е. зависит от угла наклона площадки, по которой действует.

В общем случае величина среднего давления  $p_{\text{ср}}$  будет равна:

$$p_{\text{ср}} = \frac{F}{S}, \text{ Па.}$$

Сила  $F$ , действующая на единицу площади  $S$  при стремлении (стягивании) этой площади к размерам точки  $A$ , называется силой *гидростатического давления*.

За единицу давления в Международной системе единиц СИ принят *Паскаль* – давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью  $1 \text{ м}^2$ .

В техническом оборудовании и расчетах в настоящее время продолжают применять также систему единиц «Метр, килограмм-сила, секунда (МКГСС)», в которой за единицу давления принимается  $1 \text{ кгс/м}^2$ . Широко используют также внесистемные единицы – техническую атмосферу и бар:

$$1 \text{ атм} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10000 \text{ кгс/м}^2 = 98100 \text{ Па};$$

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

Давление часто выражается высотой столба жидкости, которая называется *пьезометрической высотой* или *пьезометрическим напором*:

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g}, \text{ м.}$$

*Пьезометрическая высота* есть высота такого столба жидкости, который своим весом способен создать давление, равное гидростатическому давлению в рассматриваемой точке. Измеряется в метрах водяного столба или миллиметрах ртутного столба:

$$1 \text{ атм (физ.)} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 10,33 \text{ м вод. ст.};$$

$$1 \text{ атм (тех.)} = 736 \text{ мм рт. ст.} = 10 \text{ м вод. ст.}$$

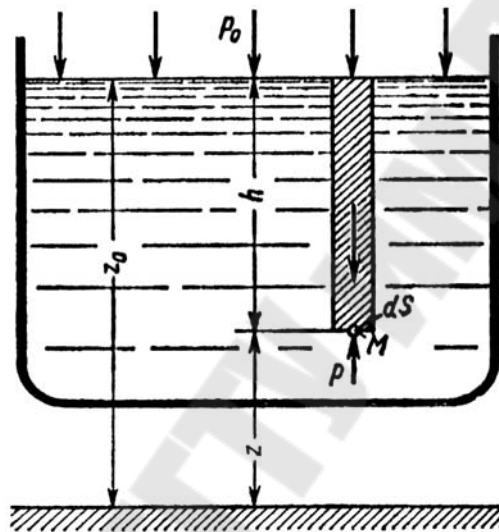


Рис. 2.1. Схема для вывода основного уравнения гидростатики

Рассмотрим случай равновесия жидкости, когда на нее действует одна сила тяжести, и получим уравнение, позволяющее находить гидростатическое давление в любой точке рассматриваемого объема жидкости. Пусть жидкость находится в сосуде (рис. 2.1) и на ее свободную поверхность действует давление  $p_0$ . Гидростатическое давление  $p$  в произвольно взятой точке  $M$ , расположенной на глубине  $h$ , находится по следующей формуле:

$$p = p_0 \pm \rho \cdot g \cdot h = p_0 \pm h \cdot \gamma, \text{ Па,}$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\gamma$  – удельный вес жидкости,  $\text{Н/м}^3$ .

Полученное уравнение называют *основным уравнением гидростатики*; по нему можно подсчитывать давление в любой точке покоящейся жидкости.



Величина  $p_0$  является одинаковой для всех точек объема жидкости, поэтому можно сказать, что давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости и по всем направлениям одинаково. Это – закон Паскаля.

Рассмотрим случай, когда давление в сосуде больше атмосферного значения  $p_0 > p_{\text{атм}}$ .

Давление  $p_0$ , определенное с учетом атмосферного давления, называется *абсолютным* давлением и определяется по формуле

$$p_0 = p_{\text{атм}} + p_{\text{изб}}, \text{ Па.}$$

Давление  $p_0$ , действующее на свободной поверхности жидкости в сосуде, превышает атмосферное давление на величину давления столба жидкости  $\rho \cdot g \cdot h$ . Это давление называется *избыточным* давлением:

$$p_{\text{изб}} = \rho \cdot g \cdot h, \text{ Па.}$$

Недостаток до атмосферного давления называется *вакуумметрическим* давлением:

$$p_0 = p_{\text{атм}} - \rho \cdot g \cdot h_{\text{вак}} = p_{\text{атм}} - p_{\text{вак}} \text{ или } p_{\text{вак}} = -\rho \cdot g \cdot h_{\text{вак}} < 0.$$

## 2.2. Приборы для измерения давления

Для измерения давления жидкости применяются различные приборы:

- манометры – для измерения избыточного (или манометрического) давления;
- вакуумметры – для измерения вакуума;
- дифференциальные манометры – для измерения разности (перепада) давлений в двух точках (например, в двух сосудах).

Эти приборы могут быть:

- жидкостными;
- пружинными;
- поршневыми;
- электрическими;
- комбинированными.

Наиболее широкое распространение получили жидкостные и пружинные приборы.

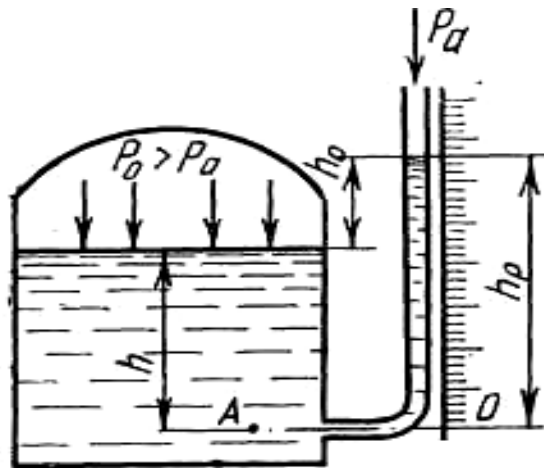


Рис. 2.2. Пьезометр

*Жидкостный манометр* – пьезометр (рис. 2.2) представляет собой стеклянную трубку, нижний конец которой соединен с точкой, где измеряется давление, а верхний открыт и сообщается с атмосферой.

Если давление на свободной поверхности жидкости в закрытом сосуде больше атмосферного, то уровень в пьезометрической трубке поднимется на высоту  $h_p$ , называемую *пьезометрической высотой*. Ее измерение производится по установленной строго вертикально линейной шкале.

Высоту столба жидкости в пьезометре  $h_p$  можно найти из условия равновесия жидкости по следующей формуле:

$$h_p = \frac{p_{\text{абс}}^A - p_{\text{атм}}}{\rho \cdot g} = \frac{p_{\text{изб}}^A}{\rho \cdot g}, \text{ м.}$$

Таким образом, по высоте столба жидкости в пьезометре с открытым верхним концом можно определить величину избыточного давления в сосуде на уровне точки подключения.

Для точки  $A$ , находящейся под свободной поверхностью в сосуде на глубине  $h$ , абсолютное давление равно:

$$p_{\text{абс}}^A = p_0 + \rho \cdot g \cdot h_p,$$

где  $p_0$  – давление на свободной поверхности в сосуде.

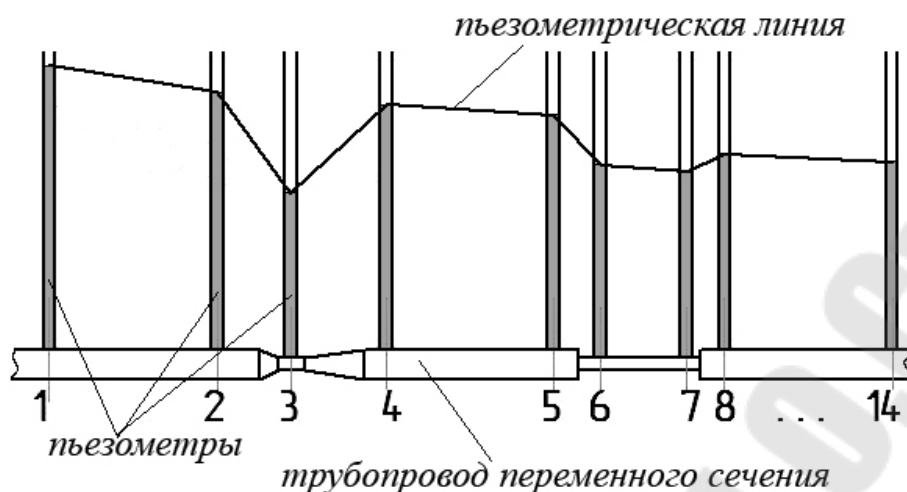


Рис. 2.3. Пьезометрическая линия

Жидкость поднимается в пьезометрах на определенную высоту, и если установить несколько пьезометров на одном уровне, то измеряя пьезометрическую высоту (или давление) в каждом сечении, можно получить *пьезометрическую линию* (рис. 2.3).

Для измерения небольших давлений (не более 0,15–0,20 атм) применяются пьезометры, наполненные водой, для больших давлений, но не свыше 2,0–2,5 атм (0,2–0,25 МПа), – пьезометры, наполненные ртутью, так называемые *ртутные манометры*.

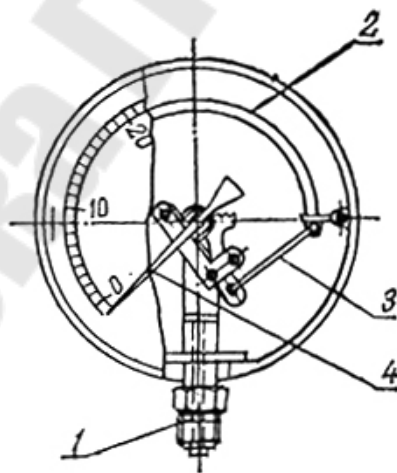


Рис. 2.4. Пружинный манометр

Для измерений значительных величин избыточных давлений в жидкостях в практике используются металлические манометры. В *пружинном манометре* (рис. 2.4) жидкость или газ поступает через штуцер 1 в изогнутую медную или стальную полую трубку-пружину 2.

Под действием избыточного давления трубка-пружина стремится разогнуться. Движение ее конца при помощи пластинки 3 передается на зубчатку, приводящую в движение стрелку 4, отклонение которой показывает на шкале прибора величину избыточного (манометрического) давления.

Для измерения вакуума применяются металлические *вакуумметры*, устройство которых аналогично металлическим манометрам. Кроме того, в технике используются *мановакуумметры* – приборы, одна часть шкалы которых показывает манометрическое (избыточное) давление, а другая – вакуум.

### 2.3. Описание опытной установки

Опытная установка (рис. 2.5) состоит из резервуара 12, заполненного водой, центробежного насоса 13 с электродвигателем, расходомерного устройства (счетчика жидкости) 11, всасывающего 3 и напорного трубопроводов 4.

Напорная труба 4 после вентиля 8 переходит в трубопровод переменного сечения 5, на характерных участках которого установлены пьезометры 1, сливной трубопровод с вентилем 6. Вакуумметр 9 и манометр 10 служат для измерения давления соответственно на входе и на выходе из насоса. Расходомер 11 служит для измерения количества жидкости, проходящего через поперечное сечение трубопровода.

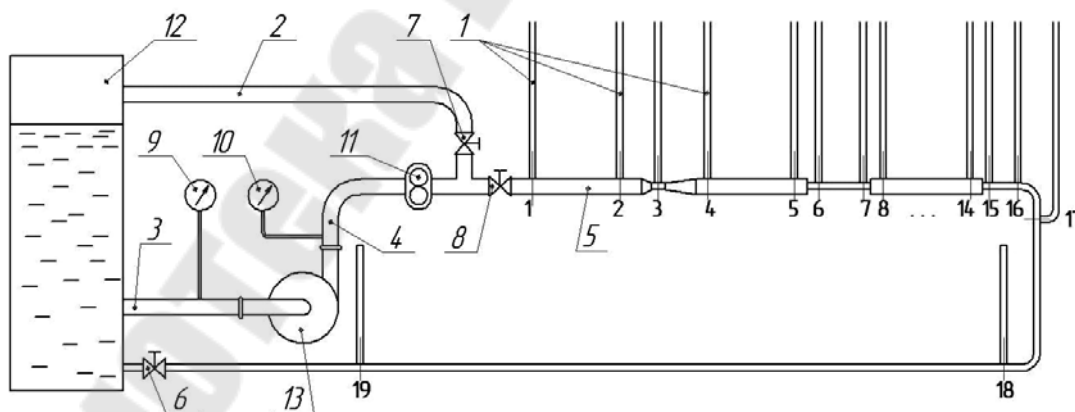


Рис. 2.5. Схема опытной установки

Вентиль 6 перекрывает подачу жидкости на слив трубопровода 5 переменного сечения. Вентиль 7 предназначен для регулирования расхода жидкости. Вентиль 8 перекрывает подачу жидкости в трубопровод переменного сечения.

В данной работе для измерения давления служат вакуумметр 9, манометр 10 и пьезометры 1. Пьезометры 1 сообщаются верхним концом с атмосферой, а нижним концом – с трубопроводом переменного сечения 5. Пьезометры служат для определения избыточного давления в трубопроводе переменного сечения 5, вакуумметр – во всасывающем трубопроводе 3, манометр – в напорном трубопроводе 4.

## 2.4. Порядок проведения работы

1. Снять эскиз (схему) трубопровода переменного сечения с указанием геометрических размеров (диаметры сечений и расстояния между ними), а также нумерации пьезометров (сечений).
2. Измерить расстояние по горизонтали  $l_0$  между точкой подключения манометра 10 и центром сечения 1 на трубопроводе 5.
3. Полностью открыть вентили 6 и 8, вентиль 7 закрыть.
4. Включить в работу насос 13, подающий воду из водосборного бака 12 в систему.
5. Установить уровень жидкости вентилем 8 в пьезометре, соответствующем сечению 1 на максимальном уровне (примерно 1 м).
6. Произвести измерения давления в трубопроводах 4 и 5 по манометру 10 и пьезометрам в сечениях 1–14.
7. Повторить измерения три раза.

## 2.5. Обработка опытных данных

1. Пьезометрическое давление определить, исходя из пьезометрического напора  $h_p$ , по следующей формуле:

$$p_p = h_p \cdot \rho \cdot g, \text{ Па,}$$

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

Пьезометрический напор  $h_p$  (см) определить по шкале, закрепленной возле пьезометра.

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.1.

2. Построить пьезометрическую линию – зависимость пьезометрического давления от расстояния между центрами сечений:  $p_p = f(l)$ . За начало отсчета принять точку подключения манометра.

Таблица 2.1

## Результаты измерений и расчетов

Номер сечения	Диаметр сечения $d$ , см	Расстояние между сечениями $l$ , см	Пьезометрический напор $h_p$ , см	Пьезометрическое давление $p_p$ , Па
1				
2				
3				
4				
...				
...				

Расстояние  $l_0 =$  \_\_\_\_\_ см.

Манометрическое давление  $p_{\text{ман}} =$  \_\_\_\_\_ Па.

## 2.6. Контрольные вопросы

1. Какие силы действуют на жидкость? Какова причина их возникновения?
2. Что называется гидростатическим давлением?
3. По какой формуле определяется гидростатическое давление?
4. В каких единицах измерения измеряется давление в системе SI?
5. Какие единицы измерения давления существуют?
6. Что такое Паскаль?
7. Какова связь различных единиц измерения давления?
8. Как давление связано с высотой уровня жидкости?
9. По какой формуле определяется пьезометрическая высота?
10. В каких единицах измеряется пьезометрическая высота?
11. Что такое пьезометрическая линия?
12. Какие свойства имеет гидростатическое давление?
13. Какое уравнение называют основным уравнением гидростатики?
14. Сформулируйте закон Паскаля.
15. Какое давление называется абсолютным?
16. По какой формуле определяется абсолютное давление?
17. Какое давление называется избыточным?
18. По какой формуле определяется избыточное давление?
19. Какое давление называется вакуумметрическим?
20. По какой формуле определяется вакуумметрическое давление?

21. Изобразите графически связь между абсолютным, атмосферным, избыточным и вакуумметрическим давлениями.
22. Какие приборы используются для измерения давления жидкости?
23. Как классифицируют приборы для измерения давления?
24. Какие приборы для измерения давления наиболее широко применяются?
25. Что представляет собой жидкостной манометр?
26. Какие приборы используются для измерения небольших давлений (до 2,5 атм)?
27. Какие приборы используются для измерения значительный величин избыточных давлений?
28. Что представляет собой пружинный манометр?
29. Какими приборами измеряется вакуумметрическое давление?
30. Какими приборами можно измерять вакуумметрическое и манометрическое давления?
31. Опишите, какими приборами будет измеряться давление в ходе эксперимента.

### Лабораторная работа № 3

## ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

**Цель работы:** закрепление знаний по разделу «Режимы течения жидкостей», визуальное наблюдение характера и структуры потока жидкости при разных скоростях движения и приобретение навыков по установлению режима течения.

### 3.1. Общие сведения

В 1883 г. английский физик Осборн Рейнольдс обосновал теоретически и показал на опытах существование двух принципиально различных режимов движения жидкости.



Рис. 3.1. Режимы движения жидкости

О. Рейнольдс разработал установку, которая давала бы возможность наблюдения режимов движения жидкости и постепенного преобразования одного режима в другой (рис. 3.1). Установка позволяет наблюдать эти режимы при движении подкрашенной жидкости, подаваемой через трубку 2 в поток прозрачной жидкости, протекающей по стеклянному трубопроводу 1.

При небольшой скорости движения жидкости краска, попав в поток жидкости в виде тонкой струйки, продолжает на всем протяжении потока двигаться струйкой (рис. 3.1, а). Это значит, что частицы испытуемой жидкости также движутся струйчато (слоисто). Это *ламинарный* режим.

При увеличении скорости движения жидкости окрашенная струйка приобретает волнистое очертание (переходная зона), а затем внезапно разрушается на отдельные частицы, которые далее двигаются по случайным неопределенно искривленным траекториям, окрашивая весь поток жидкости (рис. 3.1, е). Это *турбулентный* режим.



При таком режиме часть энергии затрачивается на поперечное перемещение и перемешивание частиц жидкости, вследствие чего турбулентный режим требует больших удельных затрат на перемещение жидкости, чем ламинарный.

Рейнольдс установил, что критерием режима движения жидкости является безразмерная величина, представляющая собой отношение произведения средней скорости потока  $v$  на характерный линейный  $l$  размер поперечного сечения потока к кинематической вязкости жидкости  $\nu$ , которая впоследствии была названа *числом Рейнольдса*.

Для потока жидкости в трубе круглого сечения (характерный размер  $l$  равен внутреннему диаметру  $d$ ) число Рейнольдса вычисляется по следующей формуле:

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

При движении жидкости в прямых круглых трубах на участках, достаточно удаленных от входа, и при отсутствии различных возмущающих условий установлено, что:

– при  $Re < 2320$  – режим движения жидкости устойчиво ламинарный;

– при  $Re > 2320$  – режим движения жидкости – турбулентный.

При  $2320 < Re < 10\ 000$  турбулентный режим течения еще не полностью развит. Здесь зоны турбулентного движения могут перемежаться с зонами ламинарного движения. Такой режим течения жидкости называют *переходным*.

Ламинарный режим наиболее вероятен при малых скоростях течения в каналах небольшого поперечного сечения (порах, капиллярах) или при движении жидкостей с большой вязкостью (нефть, мазут, масло и пр.). Турбулентный режим чаще встречается при движении маловязких жидкостей (вода, бензин, керосин и др.) в трубах и каналах.

Физический смысл числа Рейнольдса заключается в следующем. Из теории гидродинамического подобия известно, что силы инерции пропорциональны плотности жидкости  $\rho$ , скорости жидкости  $v$  во второй степени и характерному линейному размеру  $l$  во второй степени:

$$Re_{ин} \approx \rho \cdot v^2 \cdot l^2.$$

В свою очередь, силы вязкости пропорциональны плотности, скорости потока, характерному линейному размеру и коэффициенту кинематической вязкости:

$$Re_b \approx \rho \cdot v \cdot l \cdot v.$$

Число Рейнольдса есть величина, пропорциональная отношению силы инерции к силам вязкости:

$$Re = \frac{Re_{ин}}{Re_b} = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot l^2}{\rho \cdot v \cdot l \cdot v} = \frac{v \cdot l}{\nu}.$$

В зависимости от того, какие силы (вязкости или инерции) будут преобладать, и установится режим движения жидкости – ламинарный или турбулентный.

На основе эксперимента может быть построен график зависимости числа Рейнольдса от скорости потока жидкости (рис. 3.2), на котором отмечены моменты перехода режимов движения жидкости один в другой и наоборот.

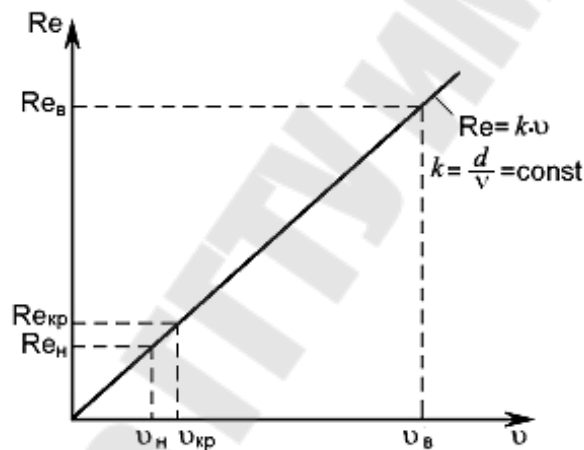


Рис. 3.2. Зависимость  $Re$  от скорости потока жидкости

Рейнольдс определил два критических числа – верхнее и нижнее. Верхнее критическое число Рейнольдса соответствует моменту перехода от ламинарного режима к турбулентному:  $Re = 12000$ . Нижнее критическое число Рейнольдса соответствует моменту перехода от турбулентного режима к ламинарному:  $Re = 998$ .

На участке между этими двумя критическими числами Рейнольдса возможно существование как ламинарного, так и турбулентного режимов движения жидкости. Это зависит от условий входа жидкости в трубу, шероховатости стенок и других случайных факторов.

В практических расчетах число Рейнольдса используется при определении сопротивления трубопроводов. Обычно для жестких трубопроводов критическое число Рейнольдса принимают  $Re_{кр} = 2320$ .

При  $Re < 2320$  ламинарное движение является вполне устойчивым: всякого рода искусственная турбулизация потока и его возмущения (сотрясение трубы, введение в поток колеблющегося тела и др.) погашаются влиянием вязкости, и ламинарный режим течения жидкости снова восстанавливается.

При  $Re > 2320$ , наоборот, турбулентный режим устойчив, а ламинарный не устойчив.

Если живое сечение потока отличается от круглого или в трубопроводе имеется большое число близко расположенных местных сопротивлений, критическое число Рейнольдса может отличаться от приведенного выше значения. Так, например, для гибких шлангов в системе гидропривода  $Re = 1600$ .

От режима движения жидкости зависят энергетические параметры потока. На рис. 3.3 показаны эпюры скоростей в живом сечении потока жидкости в круглой трубе.

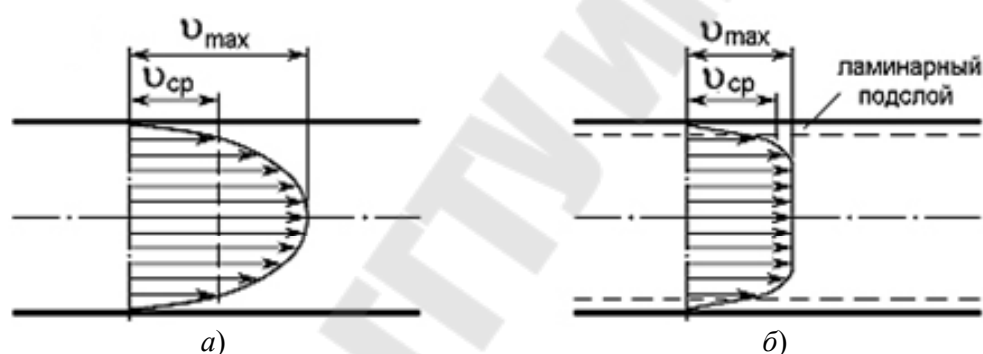


Рис. 3.3. Эпюры скоростей при ламинарном (а) и турбулентном (б) режимах движения жидкости

Эпюра скоростей в случае ламинарного режима в трубопроводе круглого сечения представляет собой параболоид вращения, ось которого совпадает с геометрической осью трубы. Сопротивление трубопровода в этом случае прямо пропорционально вязкости жидкости и обратно пропорционально числу Рейнольдса и средняя скорость равна половине от максимального значения  $u_{cp} = 0,5 \cdot u_{max}$ .

Эпюра скоростей турбулентного режима имеет ярко выраженное турбулизированное ядро потока с примерно одинаковыми средними скоростями. Лишь частицы жидкости, близко расположенные к стенке, испытывают от нее тормозящее действие сил трения и образуют так называемый ламинарный подслой. В этом случае сопротивление трубопровода в наибольшей степени определяется шероховатостью стенок трубы и имеет квадратичную зависимость от скорости

жидкости и числа Рейнольдса. Средняя скорость потока  $v_{cp}$  несколько меньше  $v_{max}$ , а при абсолютно турбулентном режиме (что возможно только теоретически для идеальной жидкости)  $v_{cp} = v_{max}$ .

Кинетическая энергия потока, подсчитанная по средней скорости течения, отнесенная к единице массы жидкости, равна  $v_{cp}^2 / 2$ .

Отношение действительной кинетической энергии к подсчитанной по средней скорости называется коэффициентом кинетической энергии или коэффициентом Кориолиса  $\alpha$ . Он характеризует неравномерность распределения скоростей в поперечном сечении потока. Его минимальное значение равно 1 в случае течения идеальной жидкости. Для реальных жидкостей  $\alpha = 1,05-1,13$  при турбулентном режиме и  $\alpha = 2$  при ламинарном режиме. В некоторых случаях, например, в местах изгиба трубопровода, эпюра скоростей может иметь еще большую неравномерность скоростей и тогда  $\alpha$  может быть больше 2.

Коэффициент Кориолиса при ламинарном режиме можно вычислить по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{v_{max}}{v_{cp}}.$$

### 3.2. Описание опытной установки

Опытная установка (рис. 3.4) состоит из напорного резервуара 1, снабженного подводной трубой и вентилем 2, сливной трубой 3, служащей для поддержания постоянного уровня воды во время опытов.

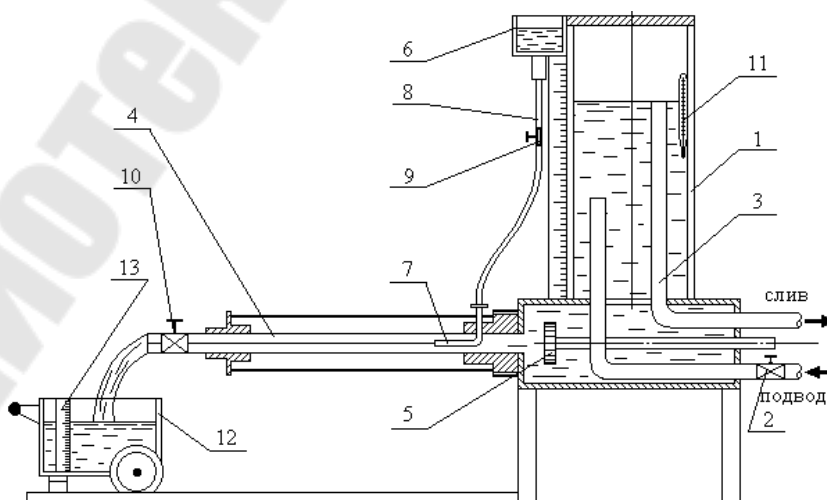


Рис. 3.4. Схема опытной установки

В напорном резервуаре смонтированы: горизонтальная стеклянная трубка 4, клапан 5, служащий для закрытия входа в горизонтальную стеклянную трубку, а также емкость 6 с окрашенной жидкостью. Внутри горизонтальной стеклянной трубки закреплена игла 7, которая соединяется с емкостью 6 гибкой трубкой 8 с краном 9.

В конце горизонтальной стеклянной трубки 4 имеется кран 10 для изменения скорости течения воды в трубе.

Для измерения температуры воды в напорном резервуаре установлен термометр 11.

Для измерения объема вытекшей воды служит мерный сосуд 12, снабженный линейкой 13.

### 3.3. Порядок проведения работы

1. Открыть вентиль 2 на подводящей трубе и заполнить водой напорный резервуар 1. При этом уровень воды в резервуаре должен поддерживаться постоянным, т. е. непрерывно работает слив.

2. Открыть клапан 5.

3. Открыть кран 10 так, чтобы вода в стеклянной горизонтальной трубке протекала с наибольшей скоростью.

4. Открывая кран 9, подать краситель в поток воды. С помощью крана 10 уменьшить скорость течения воды в горизонтальной стеклянной трубке 4 и добиться устойчивого ламинарного режима, когда окрашенная струйка будет представлять собой отчетливо выраженную нить по всей длине трубки.

5. Объемным способом определить расход воды в стеклянной трубке 4. Для этого под струю воды, вытекающую из крана 10, подставляется мерный сосуд 12 с одновременным включением секундомера. Одновременно фиксируется температура воды термометром 11.

Одновременно с проведением данных замеров необходимо определить при помощи секундомера время прохождения характерной точки подкрашенной струйки (в центре потока) мерного участка. Должно быть сделано 6–10 таких замеров. Результаты замеров занести в табл. 3.1.

Во время проведения этого опыта необходимо убедиться в неравномерности распределения скоростей в поперечном сечении трубы. Для этого необходимо путем резкого нажатия на резиновую трубку выпустить из емкости 6 большую порцию краски и проследить за ее перемещением. Максимальная скорость наблюдается в центре потока.

6. Постепенным открытием крана 10 увеличивается скорость течения в трубке 4 и все измерения повторяются. Таким образом сделать 2–3 опыта при ламинарном режиме движения.

7. При некотором открытии крана 10 краситель начнет интенсивно перемешиваться с потоком воды в горизонтальной стеклянной трубке 4, т. е. режим течения становится турбулентным. Этот момент следует уловить и измерить расход воды.

8. При последующем открытии крана 10 будет наблюдаться устойчивый турбулентный режим с интенсивным перемешиванием красителя с водой. При этом режиме следует провести 2–3 опыта с возрастающими расходами.

### 3.4. Обработка опытных данных

По результатам замеров производится расчет требуемых величин по следующим формулам.

1. Объем воды, вытекшей за время опыта, см<sup>3</sup>:

$$V = S_6 \cdot \Delta H,$$

где  $S_6 = 620 \text{ см}^2$  – площадь сечения мерного бака;  $\Delta H$  – приращение уровня воды в баке за время опыта, см.

2. Расход воды, см<sup>3</sup>:

$$Q = V / t,$$

где  $t$  – время опыта.

3. Средняя скорость движения воды, см/с:

$$v_{\text{ср}} = Q / S_{\text{п}},$$

где  $S_{\text{п}}$  – площадь живого сечения потока воды определяется как площадь поперечного сечения круглой трубы диаметром  $d = 0,7 \text{ см}$ .

4. Кинематический коэффициент вязкости воды, Ст:

$$\nu = \frac{0,0178}{1 + 0,0337 \cdot T + 0,000221 \cdot T^2},$$

где  $T$  – температура воды в период опыта, °С.

5. Число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}.$$

6. Максимальная скорость воды в трубопроводе (только для ламинарного режима), см/с:

$$v_{\max} = L/t_{\text{cp}},$$

где  $t_{\text{cp}}$  – среднее время прохождения частицами воды контрольного участка, с;  $L$  – длина контрольного участка, см.

7. Коэффициент Кориолиса:

$$\alpha = \frac{v_{\max}}{v_{\text{cp}}}.$$

Результаты измерений и вычисления занести в табл. 3.1.

По результатам расчетов в масштабе строится график зависимости  $Re = f(v)$ , на котором нужно показать зоны различных режимов движения и точки перехода от одного режима к другому.

Таблица 3.1

Результаты измерений и расчетов

Наименование измеренных и вычисленных величин	Опыты					
	1	2	3	4	5	6
1. Приращение уровня воды в баке $\Delta H$ , см						
2. Время опыта $t$ , с						
3. Объем вытекшей воды $V$ , см <sup>3</sup>						
4. Расход воды $Q$ , см <sup>3</sup> /с						
5. Средняя скорость $v_{\text{cp}}$ , см/с						
6. Число Рейнольдса $Re$						
7. Время прохождения частицей струйки мерного участка $t_i$ , с						
7. Температура воды $T$ , °С						
8. Кинематический коэффициент вязкости $\nu$ , см <sup>2</sup> /с						
9. Максимальная скорость $v_{\max}$ , см/с						
10. Коэффициент Кориолиса $\alpha$						

Среднее время прохождения частицами воды контрольного участка  $t_{\text{cp}} = t_i/n =$  \_\_\_\_\_ с.

Длина контрольного участка  $L =$  \_\_\_\_\_ см.

### 3.5. Контрольные вопросы

1. Кто и когда впервые исследовал режимы движения жидкости?
2. Что такое ламинарный режим движения жидкости и чем он характеризуется?
3. Что такое турбулентный режим движения жидкости и чем он характеризуется?
4. Что такое число Рейнольдса и по какой формуле оно определяется для круглых труб?
5. Что такое критическое число Рейнольдса?
6. Чему равно критическое число Рейнольдса для разных случаев?
7. Какой режим течения жидкости называется переходным?
8. Где чаще всего наблюдается ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости?
9. В чем заключается физический смысл числа Рейнольдса?
10. Как зависит число Рейнольдса от скорости движения жидкости?
11. В каких пределах чисел Рейнольдса могут одновременно существовать ламинарный и турбулентный режимы?
12. Для чего используется число Рейнольдса при практических расчетах?
13. Каким образом распределяются скорости по живому сечению потока при ламинарном режиме движения?
14. Каким образом распределяются скорости по живому сечению потока при турбулентном режиме движения?
15. Что такое коэффициент Кориолиса?
16. Как определяется и чему равен коэффициент Кориолиса?
17. Как вычисляются гидравлический радиус и гидравлический диаметр?
18. Опишите схему опытной установки.
19. В какой последовательности производится опыт?
20. По какой формуле определяется кинематический коэффициент вязкости?
21. Как определяется максимальная скорость воды в трубопроводе?



## Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРОТКОГО ПРОСТОГО ТРУБОПРОВОДА

**Цель работы:** закрепление знаний по разделу «Расчет простого трубопровода», определение коэффициента сопротивления трубопровода, определение потерь давления в трубопроводе, построение характеристики простого трубопровода.

### 4.1. Общие сведения

*Простыми* называют трубопроводы, не имеющие ответвлений и обслуживающие только одну точку. Причем диаметр трубы, а также расход жидкости на всей длине трубы остаются неизменными (рис. 4.1, а).

Трубопроводы, у которых местные потери напора составляют менее 10 % от потерь по длине, считаются гидравлически *длинными*, если же более 10 %, то гидравлически *короткими*.

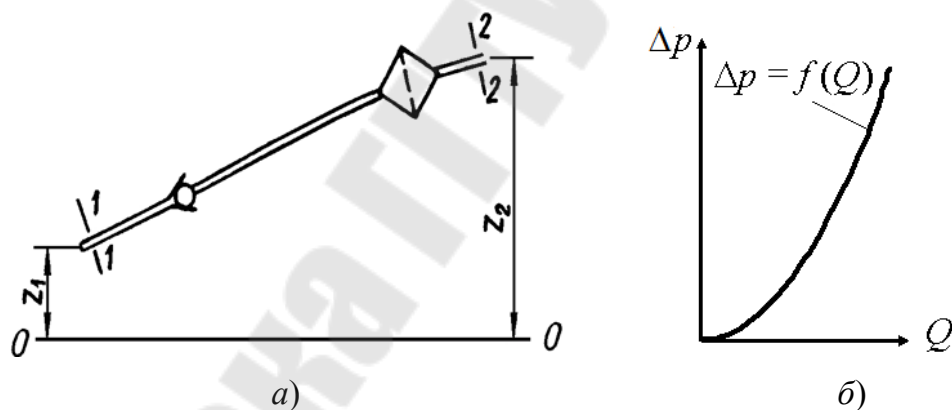


Рис. 4.1. Простой трубопровод (а)  
и характеристика простого трубопровода (б)

Одной из основных задач гидравлики является расчет потерь давления в трубопроводе. Зависимость потери давления  $\Delta p$  от расхода жидкости  $Q$   $\Delta p = f(Q)$  называется гидравлической *характеристикой трубопровода*.

В общем случае потери складываются из потерь давления по длине трубопровода  $\Delta p_{\text{тр}}$  и потерь на местных сопротивлениях  $\Delta p_{\text{м.с}}$ :

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м.с}}$$

Потери удельной энергии, или *гидравлические потери*, зависят от формы, размеров русла, скорости течения и вязкости жидкости, а иногда и от абсолютного давления в ней.

*Местные потери энергии* обусловлены так называемыми местными гидравлическими сопротивлениями, т. е. местными изменениями формы и размера русла, вызывающими деформацию потока. При протекании жидкости через местные сопротивления изменяется ее скорость и обычно возникают крупные вихри. Вихри образуются за местом отрыва потока от стенок и представляют собой области, в которых частицы жидкости движутся в основном по замкнутым кривым или близким к ним траекториям.

Наиболее типичные местные сопротивления и характер движения жидкости в них показаны на рис. 4.2.

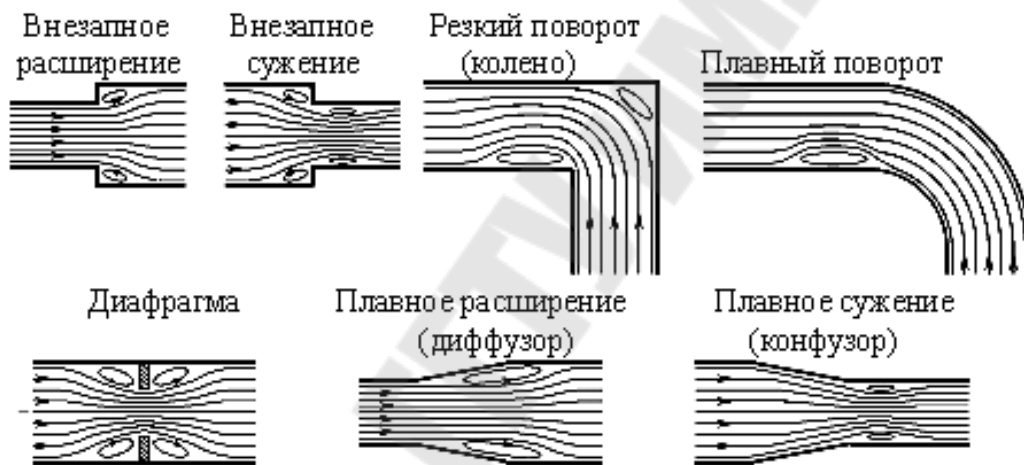


Рис. 4.2. Схема типичных местных гидравлических сопротивлений

Во многих случаях гидравлические потери приблизительно пропорциональны скорости течения жидкости во второй степени, поэтому местные потери напора можно определить по формуле Вейсбаха

$$\Delta h_{\text{м.с}} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{или} \quad \Delta p_{\text{м.с}} = \zeta \cdot \rho \cdot v^2 / 2,$$

где  $\rho$  – плотность рабочей жидкости;  $v$  – средняя скорость по сечению в трубе, в которой установлено местное сопротивление (если диаметр трубы и скорость в ней изменяются по длине, то для расчета принимают большую из скоростей);  $\zeta$  – коэффициент сопротивления, значение которого постоянно для данной формы местного сопротивления.

При инженерных расчетах коэффициент местного сопротивления определяется по формулам, таблицам или графикам, которые приводятся в справочной литературе.

*Потери на трение по длине* – это потери, которые в чистом виде возникают в прямых трубах постоянного сечения, и возрастают пропорционально длине трубы.

Рассматриваемые потери обусловлены внутренним трением в жидкости и трением жидкости о стенки трубопровода, и поэтому имеются как в шероховатых, так и в гладких трубах. Эти потери определяются по формуле Дарси:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2},$$

где  $l$  и  $d$  – длина и диаметр трубопровода;  $\lambda$  – безразмерный коэффициент потерь на трение по длине, или коэффициент Дарси, который в общем случае зависит от шероховатости стенок трубопровода и режима течения жидкости.

Режим движения жидкости определяется по числу Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu},$$

где  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости.

При ламинарном режиме движения жидкости  $\text{Re} < 2320$  коэффициент гидравлического трения определяется по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}.$$

При турбулентном режиме движения жидкости  $\text{Re} > 2320$  коэффициент гидравлического трения упрощенно определяется по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}.$$

Таким образом, зависимость потерь от расхода жидкости с учетом уравнения расхода  $Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v$  выражается уравнением:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м.с}} = \left( \lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\rho}{2} \cdot \frac{16 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^4},$$

где  $K_{\text{тр}}$  – гидравлическое сопротивление трубопровода.

Это выражение называется *характеристикой трубопровода* при турбулентном движении жидкости. Эта характеристика представляет собой зависимость суммарных потерь давления (напора) от расхода в трубопроводе  $\Delta p = f(Q)$  ( $\Delta h = f(Q)$ ) (рис. 4.1, б).

Если в трубопроводе установлены гидравлические аппараты, имеющие свои сопротивления, то их необходимо добавить к коэффициенту сопротивления трубопровода, и в результате получится суммарное гидравлическое сопротивление.

## 4.2. Описание опытной установки

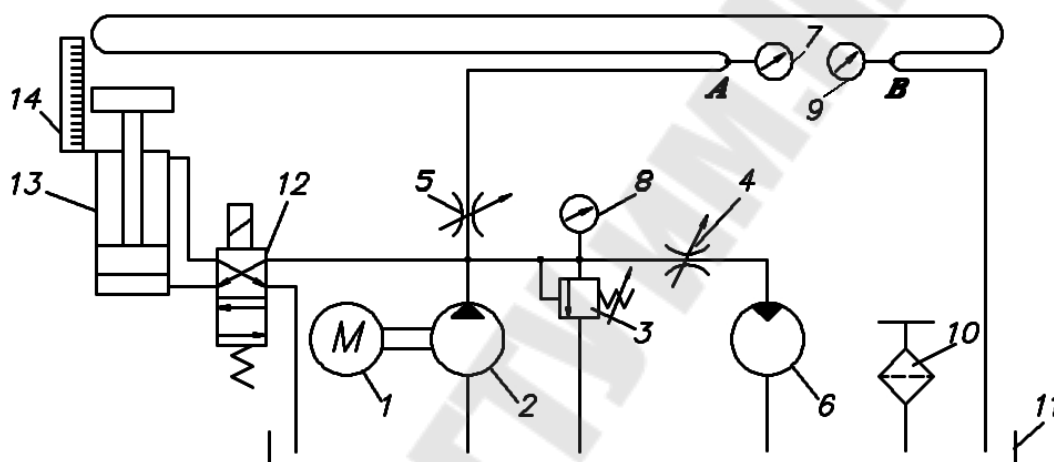


Рис. 4.3. Схема опытной установки

Схема лабораторной установки представлена на рис. 4.3. Схема включает электродвигатель 1 и насос 2. Для предохранения системы от перегрузок служит предохранительный клапан 3. Изменение расхода и давления производится дросселями 4 и 5. В системе предусмотрен фильтр 10 для очистки попадающего в бак 11 воздуха. По манометрам 7 и 9 определяется давление в точках А или В длинного трубопровода. Давление насоса определяется по манометру 8.

На данной экспериментальной установке можно производить исследования авиационного аксиально-поршневого гидромотора 6 или одноштокового гидроцилиндра 13. Изменение направления рабочей жидкости при исследовании гидромотора производится автоматически распределителем 12. Длина хода поршня гидроцилиндра измеряется по линейке 14.

### 4.3. Порядок проведения работы

1. Полностью закрыть дроссели 5 и 4. Включить установку.
2. Измерить ход поршня  $L$ , диаметр поршня  $D$  и штока  $d_{шт}$ , время движения штока внутрь гидроцилиндра  $t_{шт}$ .
3. Полностью открыть дроссель 4.
4. Ручным тахометром измерить частоту движения вала гидромотора  $n_{гм}$  и занести в табл. 4.1.
5. Произвести измерение потерь давления в петле трубопровода на входе  $p_{вх}$  и на выходе  $p_{вых}$  для различных скоростей движения потока. Исходное состояние при закрытом дросселе 5 и открытом дросселе 4 соответствует нулевому расходу в петле и отсутствию показаний манометров 7 и 9. Приоткрывая дроссель 5, часть потока направляется в петлю трубопровода, и измеряется давление на входе в петлю манометром 7 и на выходе из петли манометром 9.

### 4.4. Обработка результатов измерений

По результатам замеров производится расчет требуемых величин по следующим формулам.

1. Определить расход жидкости, поступающей в гидроцилиндр  $Q_{ц} = Q_{max}$  при полностью закрытом дросселе 4 (все количество жидкости от насоса идет в гидроцилиндр) по формуле

$$Q_{max} = Q_{ц} = S \cdot v_{п} = \frac{\pi(D^2 - d_{шт}^2)}{4} \cdot \frac{L}{t_{шт}}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Определить текущее значение расхода, проходящего через гидромотор, которое определяется для каждой величины открытия дросселя 5 по следующей формуле:

$$Q_{тек} = \frac{V_{огм} \cdot n_{гм}}{\eta_{об.гм}},$$

где  $V_{огм} = 2 \text{ см}^3$  – рабочий объем гидромотора;  $\eta_{об.гм} = 0,98$  – объемный КПД гидромотора.

3. Определить потери давления  $\Delta p_{оп}$  в петле трубопровода, которые определяются для каждой величины открытия дросселя 5 по формуле

$$\Delta p_{оп} = p_{вх} - p_{вых}.$$

4. Определить расход жидкости, поступающей в трубопровод по следующей формуле:

$$Q_{\text{тр}} = Q_{\text{max}} - Q_{\text{тек}}$$

5. Определить скорость движения жидкости в трубопроводе по формуле

$$v = \frac{4 \cdot Q_{\text{тр}}}{\pi \cdot d^2},$$

где  $d = 3$  мм – внутренний диаметр трубопровода.

6. Определить режим движения жидкости по формуле числа Рейнольдса:

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

где  $\nu = 30$  сСт – кинематический коэффициент вязкости рабочей жидкости.

7. Определить коэффициент гидравлического трения в зависимости от режима движения жидкости (см. п. 4.1).

8. Рассчитать потери давления в петле трубопровода по следующей формуле:

$$\Delta p = \left( \lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{16 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d^4},$$

где  $l = 3,8$  м и  $d = 3$  мм – длина и диаметр трубопровода;  $\rho = 890$  кг/м<sup>3</sup> – плотность рабочей жидкости;  $\sum \zeta = 4 \cdot \zeta_{\text{п}} + 2 \cdot \zeta_{\text{тр}}$  – суммарный коэффициент сопротивления (в рассматриваемом трубопроводе принимаем в качестве местных сопротивлений плавные повороты с коэффициентом сопротивления  $\zeta_{\text{п}} = 0,15$  и тройники с коэффициентом сопротивления  $\zeta_{\text{тр}} = 1$ ).

9. Сравнить расчетное значение потерь давления  $\Delta p$  и опытное значение  $\Delta p_{\text{оп}}$ .

Данные экспериментов и расчетов занести в табл. 4.1.

## Результаты измерений и расчетов

Номер опыта	Частота вращения $n_{гм}$ , об/мин	Текущий расход $Q_{тек}$ , м <sup>3</sup> /с	Расход $Q_{тр}$ , м <sup>3</sup> /с	Скорость $v$ , м/с	Re	$\lambda$	Давление		Потери давления	
							На входе $p_{вх}$ , атм	На выходе $p_{вых}$ , атм	Опыт $\Delta p_{оп}$	Расчет $\Delta p$
1										
2										
3										
...										
...										

Ход поршня  $L = \underline{\hspace{2cm}}$  м.

Диаметр поршня  $D = \underline{\hspace{2cm}}$  м.

Диаметр штока  $d_{шт} = \underline{\hspace{2cm}}$  м.

Время движения штока внутрь гидроцилиндра  $t_{шт} = \underline{\hspace{2cm}}$  с.

Расход жидкости, поступающей в гидроцилиндр  $Q_{max} = \underline{\hspace{2cm}}$  м<sup>3</sup>/с.

Построить характеристику трубопровода для расчетного и опытного значения потерь давления  $\Delta p = f(Q)$ ,  $\Delta p_{оп} = f(Q)$ .

## 4.5. Контрольные вопросы

1. Что такое короткий трубопровод?
2. Что такое длинный трубопровод?
3. На какие виды делятся длинные трубопроводы?
4. Какие трубопроводы называются простыми?
5. Что такое характеристика трубопровода?
6. Что такое гидравлическое сопротивление?
7. Что является источником потерь энергии движущейся жидкости?
8. От чего зависят гидравлические потери?
9. На какие виды делятся гидравлические сопротивления?
10. Как влияет режим движения жидкости на гидравлическое сопротивление?
11. Какие потери энергии называются местными?
12. Какова причина возникновения потерь на местных сопротивлениях?
13. Что относится к местным гидравлическим сопротивлениям?

14. По какой формуле определяются потери давления на местных сопротивлениях?

15. Каким образом определяется коэффициент местного сопротивления при расчетах?

16. Какие потери энергии называются потерями на трение?

17. Чем вызваны потери энергии по длине трубопровода?

18. По какой формуле определяются потери давления на трение?

19. От чего зависит коэффициент гидравлического трения?

20. По какой формуле определяется коэффициент гидравлического трения при ламинарном режиме течения жидкости?

21. По какой формуле определяется коэффициент гидравлического трения при турбулентном режиме течения жидкости?

22. Что такое коэффициент сопротивления трубопровода?

23. Что представляет собой характеристика трубопровода?

24. Как при расчетах потерь учитываются сопротивления гидравлических аппаратов?



## Лабораторная работа № 5 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН

**Цель работы:** теоретически изучить конструкции и принцип действия гидромашин различных конструктивных исполнений; произвести демонтаж заданной гидромашин; зарисовать основные детали машины (по выбору преподавателя) на формате А4–А3, проставляя все размеры; собрать объемную гидромашину.

### 5.1. Общие сведения

Основными элементами гидросистем являются гидромашин.

*Гидромашин* – это устройство, создающее или использующее поток жидкой среды.

Общий анализ условий работы гидромашин показывает, что в них должен осуществляться обмен энергией между жидкостью и каким-либо движущимся рабочим органом, к которому подводится энергия. Видов, типов и конструкций гидромашин существует огромное количество, но все они могут быть разделены по принципу действия на два вида: объемные и динамические. У насосов этих видов различные рабочие камеры и их сообщение со входом и выходом насоса.

*Объемные гидромашин* (к которым относятся поршневые, шестеренные, радиально- и аксиально-поршневые и т. д.) работают за счет изменения объема рабочих камер, периодически соединяющихся с входным и выходным патрубками.

*Рабочая камера* объемной гидромашин – это ограниченное изолированное пространство, образованное деталями насоса с переменным при работе насоса объемом и попеременно сообщаемое с всасывающими и нагнетательными каналами. Детали, образующие полости изменяемого объема и отделяющие входную полость от выходной, являются основными деталями объемной гидромашин. Форма вытеснителей и способ замыкания вытесняемого объема определяют конструктивный тип гидромашин.

*Рабочим органом* объемной гидромашин, совершающим работу, является вытеснитель – поршень (плунжер), пластины, зубчатое колесо, диафрагма и т. д.

В *динамических* гидромашин жидкость движется под силовым воздействием в камере, имеющей постоянное сообщение с входным и выходным патрубками. В лопастных насосах жидкая среда перемещается путем обтекания лопастей. К таким насосам относятся центробежные и осевые насосы.



вующим каналам опорного диска в сливную магистраль. Перед запуском гидромотора необходимо заполнить рабочей жидкостью его корпус: при работе в горизонтальном положении – выше средней линии, при работе в вертикальном положении – полностью. В качестве рабочей жидкости следует применять минеральное масло вязкостью 15–200 сСт. Температура масла – от 10 до 65 °С. Направление и частота вращения гидромотора меняются путем изменения направления и величины потока жидкости.

*Основные технические параметры моторов типа Г15-2...Н:*

1. Рабочий объем, см<sup>3</sup> – 11,2–160.
2. Давление на входе, ном/макс, МПа – 6,3/12,5.
3. Номинальная частота вращения вала, об/мин – 960.
4. Номинальная производительность, л/мин – 10,75–153,6.
5. Крутящий момент, Н · м – 8–128.
6. КПД (%) гидромеханический/полный – 0,89/0,87.
7. Номинальная полезная мощность, кВт – 0,8–12,8.
8. Масса, кг – 4,7–40.

### **5.1.2. Шестеренные насосы типа НШ-32**

Шестеренные насосы НШ-32 (рис. 5.2) предназначены для нагнетания чистого минерального масла в гидравлические системы тракторов и строительно-дорожных машин. Рекомендуется применять масла из ряда ИГП-38...ИГП50А. Производительность насосов регулируемая, направление потока масла постоянное. Эти реверсируемые насосы отличаются компактностью, малым количеством подвижных деталей и простотой конструкции.

Насосы НШ-32 (рис. 5.2) состоят из алюминиевого корпуса 1, в расточках которого помещены ведущая 10 и ведомая 4 шестерни, выполненные заодно с цапфами, опирающимися на бронзовые втулки 2 и 11. Втулки служат подшипниками для шестерен и уплотняют их торцовые поверхности.

Для уменьшения внутренних перетечек масла через зазоры между торцовыми поверхностями шестерен и втулок в насосе применена автоматическая компенсация величины зазоров по торцам шестерен, которая в зависимости от давления нагнетания происходит следующим образом. Масло из камеры нагнетания по каналу поступает в полость А между подвижными втулками и крышкой 8 и стремится поджать втулки к торцам шестерен, ликвидируя зазор между ними. Со стороны зубьев на втулки также давит масло, но на меньшей пло-

щади. Таким образом, результирующее усилие, которое прижимает втулки к торцам шестерен, превосходит отжимающее усилие, сохраняющая смазочную пленку. Давление масла со стороны зубьев шестерен неравномерно. Во избежание перекосов втулок вследствие неравномерной нагрузки часть их торцевой площади изолирована от действия поджимающего давления резиновым уплотнением 13, направляемым пластинкой 14. Вытекание масла из полости А предотвращается уплотнительными кольцами 9 и 3.

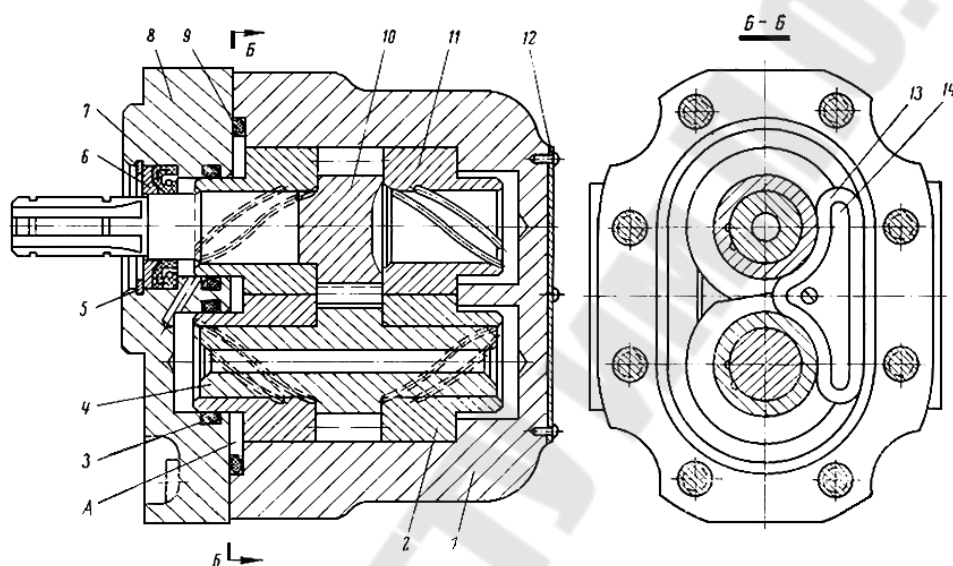


Рис. 5.2. Шестеренный насос НШ-32

Масло, проникающее через зазоры внутри насоса и через подшипники, отводится системой каналов в полость всасывания. Приводной конец вала ведущей шестерни уплотнен резиновой манжетой 7, закрепленной упорным 6 и стопорным 5 кольцами. Направление вращения приводного вала показано на табличке 12. Крепление насоса фланцевое.

*Основные технические параметры насоса НШ-32:*

1. Рабочий объем, см<sup>3</sup> – 31,7.
2. Номинальное/максимальное давление, МПа – 10/13,5.
3. Число оборотов, об/мин – 1100–1650.
4. Объемный КПД – 0,92.
5. Масса, кг – 6,7.

### 5.1.3. Пластинчатые насосы типа БГ12-41

Насосы пластинчатые с постоянным рабочим объемом изготавливаются в однопоточном (рис. 5.3) исполнении и предназначены для

нагнетания в гидравлические системы машин рабочей жидкости одним потоком, постоянным по величине и направлению. Гидравлически разгруженные двоянные пластины обеспечивают высокую долговечность насосов.

Применяются насосы в гидравлических системах станков, литейного, сварочного оборудования, прессов и других стационарных машин, работающих в закрытых помещениях, где требуемая величина давления не превышает 10 МПа.

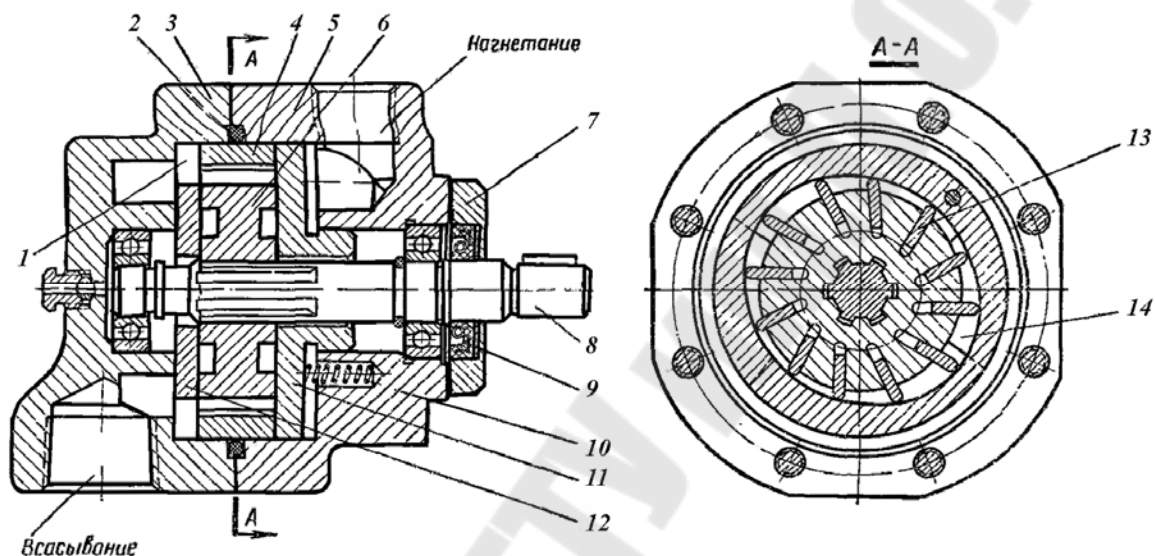


Рис. 5.3. Пластиновый насос двойного действия типа БГ12-41

В чугунном корпусе 5 (рис. 5.3) и крышке 3 смонтировано закаленное кольцо-статор 4, имеющее внутри профилированную поверхность, по которой скользят двенадцать лопаток 13. Лопатки свободно перемещаются в радиальных пазах ротора 6. Ротор 6 насажен на шлицы вала 8, свободно вращающегося в шариковых подшипниках. К торцам кольца-статора 4 прижаты диски – плоский 12 и с шейкой 11. Плоский диск и диск с шейкой – плавающего типа. В начале работы диск с шейкой прижимается к статору тремя пружинами 10, а в процессе работы – давлением масла. В плоском диске имеются два окна 1 для всасывания масла, а в диске с шейкой – два окна 14 для нагнетания масла.

При вращении ротора 6 лопатки 13 под действием центробежной силы и давления масла, подведенного под лопатки, всегда прижаты к внутренней поверхности статора 4. Каждая лопатка перемещается в пазах ротора 6 радиальном направлении в соответствии с профилем кривой на статоре 4, причем каждая из камер, образованная двумя

соседними лопатками, внутренней поверхностью статора и ротором, во время соединения с окнами всасывания 1 увеличивает свой объем (благодаря профилю статора 4) и заполняется маслом через окна всасывания 1, а во время соединения с окнами нагнетания 14 уменьшает свой объем (также благодаря профилю статора 4), вытесняя масло через окно нагнетания.

За один оборот ротора 6 производится два полных цикла всасывания и нагнетания. Благодаря диаметрально противоположному расположению подводов и отводов масла, нагрузка на ротор 6 от давления масла со стороны полостей нагнетаний уравнивается и вал насоса передает только крутящий момент. Для предотвращения утечки масла по валу 8 насоса во фланце 7 установлена манжета 9 из маслостойкой резины.

Стык между корпусом 5 и крышкой 3 уплотняется круглым кольцом 2 из маслостойкой резины.

Насос может быть установлен в горизонтальном, вертикальном положении над уровнем масла и с погружением в него. Последнее обеспечивает более благоприятные условия работы, но затрудняет наблюдение при эксплуатации.

*Основные технические параметры насоса БГ12-41:*

1. Рабочий объем, см<sup>3</sup> – 8.
2. Номинальная производительность, л/мин – 10,4.
3. Номинальное/максимальное давление, МПа – 10/12,5.
4. Число оборотов, об/мин – 1500.
5. Объемный КПД – 0,87.
6. Общий КПД – 0,65.
7. Масса, кг – 3,7.

#### **5.1.4. Пластинчатые регулируемые насосы типа Г12-53 М**

Насос Г12-53М относится к классу роторных регулируемых пластинчатых гидромашин однократного действия и предназначен для создания переменного по величине потока рабочей жидкости в гидросистемах станочного оборудования.

Рабочие камеры насоса ограничены цилиндрическими поверхностями ротора 6, статора 5, боковыми поверхностями соседних пластин 8 и торцовыми поверхностями переднего 1 и заднего 2 распределительных дисков (рис. 5.4).

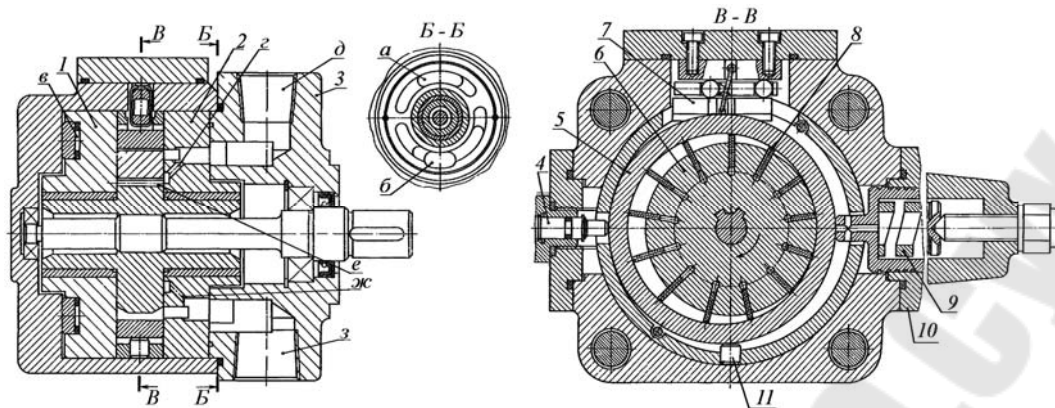


Рис. 5.4. Пластинчатый регулируемый насос типа Г12-53М

При вращении ротора по часовой стрелке в силу эксцентричного расположения центральных осей ротора и статора пластины совершают сложное движение: переносное вращательное (совместно с ротором) и относительное возвратно-поступательное – в его плоских пазах. За первую половину оборота объем камер увеличивается, а за вторую – уменьшается, что соответствует тактам всасывания и нагнетания насоса. Жидкость поступает в отверстие *з* и через окно *б* диска *2* передней крышки *3* подводится в рабочие камеры, расположенные в нижней полуплоскости насоса. При вращении ротора эти камеры перемещаются в верхнюю полуплоскость, где их объем постепенно уменьшается, а рабочая жидкость через окно *а* в диске *2* и крышке *3* нагнетается в выходное отверстие *д* насоса. Из-за несимметричного расположения окон всасывания *б* и нагнетания *а* относительно горизонтальной оси насоса со стороны рабочих камер на статор действует неуравновешенная сила гидростатического давления, горизонтальная составляющая которой воспринимается пружиной *9* регулятора *10* насоса.

С увеличением давления в напорной магистрали насоса статор, установленный в корпусе на неподвижной *11* и подвижной *7* опорах, смещается, сжимая пружину *9*. Величина эксцентриситета и рабочего объема насоса уменьшается. Максимальный рабочий объем определяется регулировкой винтового упора *4*. Поджим пластин к статору обусловлен действием центробежных сил и сил гидростатического давления. С этой целью под пластины, находящиеся в зоне нагнетания, через отверстие *г* подводится давление нагнетания, а под пластины, находящиеся в зоне всасывания, через отверстие *ж* поступает жидкость из линии всасывания насоса. Для компенсации торцовых зазоров между ротором и распределительными дисками задний диск *1* сделан «плавающим» и на его нерабочей поверхности выполнена кольцевая камера *в*, связанная с линией нагнетания насоса.

*Основные технические параметры Г12-53М:*

1. Рабочий объем, см<sup>3</sup> – 20.
2. Номинальная подача, л/мин – 25,5.
3. Давление на выходе из насоса (ном/макс), МПа – 6,3/7,0.
4. Частота вращения (ном/мин), об/мин – 1500/960.
5. Номинальная мощность, кВт – 3,6.
6. Масса, кг – 16.

### **5.1.5. Гидроцилиндры поршневые**

Гидроцилиндр преобразует гидравлическую энергию в механическую и осуществляет прямолинейные перемещения, поэтому его называют гидравлическим линейным двигателем.

Гидроцилиндры классифицируются по направлению действия рабочей жидкости (одностороннего и двустороннего действия) и по конструкции рабочей камеры (поршневые, плунжерные, телескопические, мембранные, сифонные). В гидроприводах машин общепромышленного назначения широкое распространение получили поршневые гидроцилиндры с односторонним штоком (рис. 5.5) и телескопические гидроцилиндры.

Гидроцилиндры строительно-дорожных машин изготавливаются по нормам ОН22–176-69 и работают при номинальном давлении 16 МПа при температуре окружающей среды от – 40 до +50 °С.

Гидроцилиндры поршневые по нормам ОН22–176-69 выполняются с диаметрами поршня от 32 до 220 мм и штока от 16 до 140 мм, ходом поршня от 60 до 2800 мм в зависимости от исполнения.

Применение гидроцилиндров следующее:

1. Металлообрабатывающие станки и машины: движения подачи для инструмента и обрабатываемой детали; зажимные приспособления; движения резания на строгальных, долбежных и протяжных станках; движения на прессах; движения на машинах для литья под давлением.

2. Транспортные и подъемные устройства: движения при опрокидывании, подъеме и повороте в погрузчиках-опрокидывателях, вилочных погрузчиках и т. д.

3. Самоходные устройства: экскаваторы, ковшовые погрузчики, тракторы, штабелеукладчики, бетононасосный транспорт.

4. Самолеты: подъемные, опрокидывающие и поворотные движения для шасси, щитков и закрылок и т. д.

5. Суда: перемещения руля, регулировка судового гребного винта.



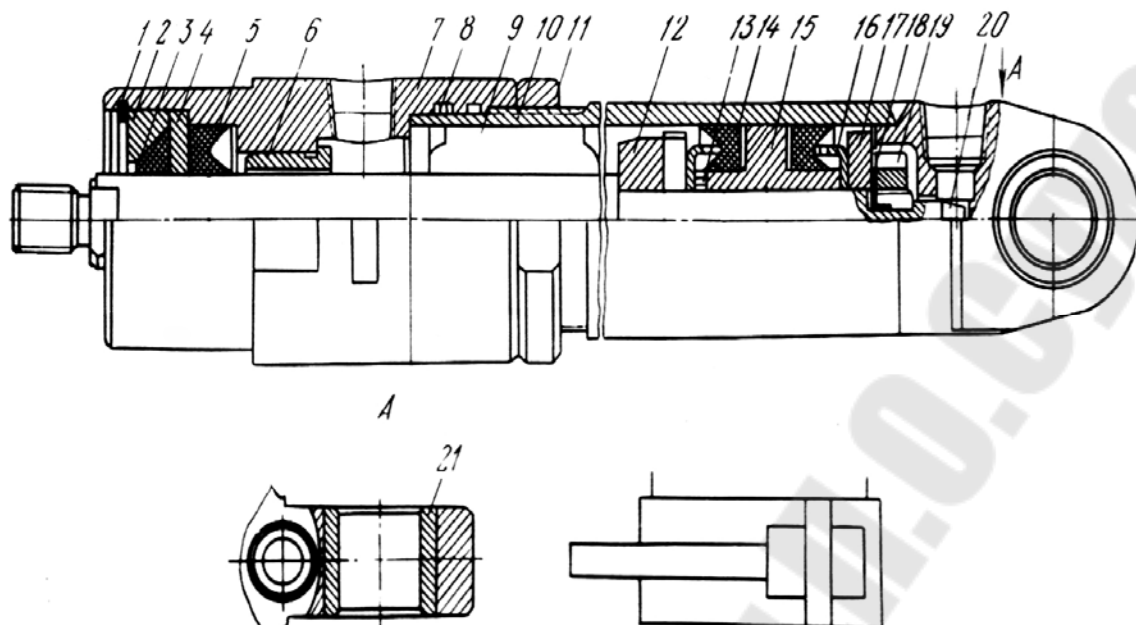


Рис. 5.5. Конструкция гидроцилиндра двустороннего действия:  
 1 – упорное кольцо; 2, 4, 17 – кольца; 3 – грязесъемное кольцо;  
 5, 14 – уплотнительные манжеты; 6 – втулка; 7 – направляющая обойма;  
 8, 13 – уплотнительные кольца; 9 – шток; 10 – гильза цилиндра; 11 – гайка;  
 12 – демпферное кольцо; 15 – поршень; 16 – держатель манжеты;  
 18 – стопорная шайба; 19 – гайка; 20 – хвостовик; 21 – втулка проушины

### 5.1.6. Центробежный консольный насос

Центробежный насос (рис. 5.6) состоит из рабочего колеса 1 с криволинейными лопастями, насаженного на вал 2, и камеры 3, в которой располагается рабочее колесо.

По входному патрубку 4 жидкость подается к центральной части рабочего колеса и выбрасывается из него в спиральную отвод 3, переходящий в короткий диффузор – напорный патрубок 5. Назначением рабочего колеса является передача жидкости энергии от двигателя. Рабочее колесо центробежного насоса состоит из ведущего *а* и ведомого (обода) *б* дисков, между которыми находятся лопатки *в*, изогнутые, как правило, в сторону, противоположную направлению вращения колеса. Ведущим диском рабочее колесо крепится на валу.

В центробежном насосе на жидкость, заполняющую каналы между лопастями колеса и вращающуюся вместе с ним, действует центробежная сила и отбрасывает ее от центра колеса на периферию, создавая повышенное давление на периферии и разрежение в центре. Поэтому постоянно происходит всасывание жидкости в подводящее отверстие.

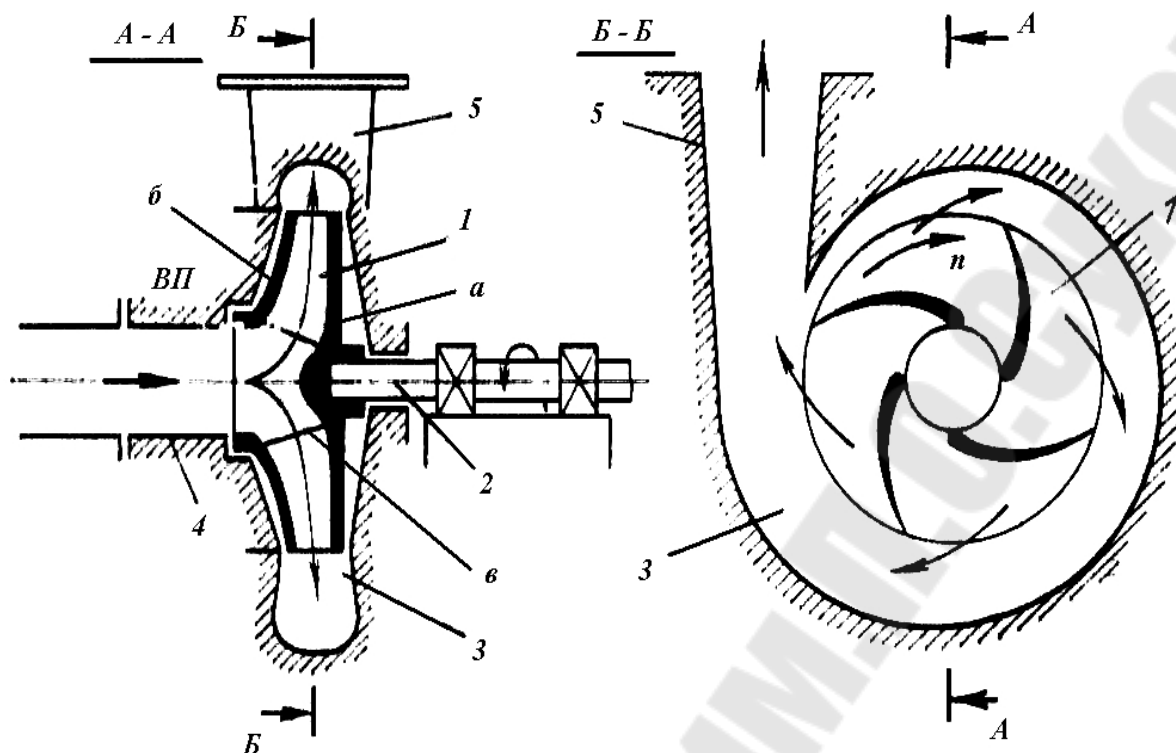


Рис. 5.6. Схема центробежного насоса

Динамическое воздействие лопастей на поток приводит к тому, что давление в напорном патрубке будет больше, чем давление во всасывающем патрубке, т. е. создается напор, зависящий от частоты вращения колеса. Привод насоса осуществляется от вала электродвигателя.

Они выполняются на отдельной стойке – тип *K* (рис. 5.7) или в моноблочном с электродвигателем исполнении – тип *KM*.

Они предназначены для работы в стационарных условиях для перекачивания воды (кроме морской) и других жидкостей, сходных с водой по плотности, вязкости и химической активности, с температурой до 85 °С, с содержанием механических примесей по объему не более 0,1 % и размером не более 0,2 мм.

Основные параметры консольных насосов: подача от 2 до 90 л/с; напор 15–90 м; частота вращения 1450 или 2900 об/мин.

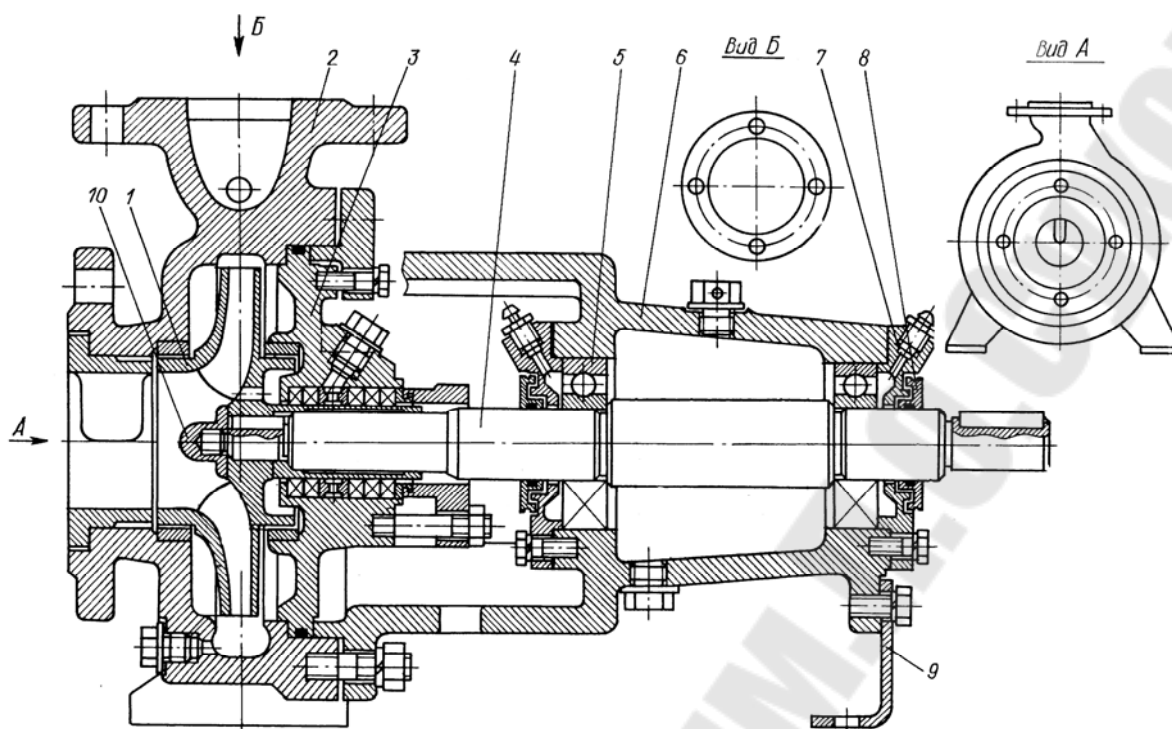


Рис. 5.7. Центробежный одноступенчатый горизонтальный насос типа *K*:

- 1 – рабочее колесо; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – вал; 5 – подшипник;  
 6 – опорный кронштейн; 7 – штуцер; 8 – маслосбрасывающее кольцо;  
 9 – опорная стойка; 10 – обтекатель

Насосы на отдельной стойке (тип *K*) могут применяться для перекачивания жидкостей с температурой до 105 °С и работать как с разрежением, так и с подпором на входе (подпор не должен превышать 0,2 МПа). Они изготавливаются как с рабочим колесом без обточки, так и с обточкой по наружному диаметру.

Согласно основной и дополнительной классификациям насос (рис. 5.6) относится к насосам с закрытым рабочим колесом 1, посаженным на консольную часть вала 4, благодаря чему его называют консольным и относят к типу *K*. По расположению вала он является горизонтальным с выносными подшипниковыми опорами 5, расположенными в самостоятельном корпусе 6, служащем для них масляной ванной. Корпус подшипников жестко соединен при помощи болтов с корпусом насоса 2, представляющим отвод спирального типа. Спиральный отвод-корпус заканчивается нагнетательным патрубком с фланцем для подсоединения насоса к трубопроводу. К поверхности торца корпуса присоединена с помощью болтов крышка 3, выполненная заодно с осевым подводом конфузорного типа. К фланцу подвода присоединяется всасывающий трубопровод.

Для уменьшения протечек перекачиваемой насосом жидкости из отвода через пазуху между крышкой корпуса и передним диском рабочего колеса в подводящий патрубок входа применены внутренние бесконтактные щелевые уплотнения, действие которых основано на принципе дросселирования. Таких уплотнений в одноступенчатом насосе два. Одно из них расположено у торца переднего диска рабочего колеса, а второе – между корпусом-отводом и кромкой ступицы у заднего диска рабочего колеса. Для предотвращения утечек жидкости из полости насоса между валом рабочего колеса и корпусом-отводом предусмотрено наружное уплотнение сальникового типа.

## **5.2. Порядок проведения работы**

1. Используя методические указания, плакаты, учебные разрезы, изучить конструкции и принцип действия гидравлических машин.
2. Получить от преподавателя гидравлическую машину (на выбор преподавателя), демонтировать ее.
3. Произвести измерение размеров, сделать рабочие чертежи основных деталей на листах формата А4–А3.
4. Собрать гидравлическую машину.

## **5.3. Контрольные вопросы**

1. Что такое гидромашина?
2. На какие виды делятся гидромшины по принципу действия?
3. Какие гидромшины называются объемными?
4. Какие гидромшины называются динамическими?
5. Что такое рабочая камера объемной гидромшины?
6. Что такое рабочий орган объемной гидромшины?
7. Что определяет конструктивный тип объемной гидромшины?
8. Какие виды гидравлических машин относятся к объемным?
9. Что такое рабочий орган динамической гидромшины?
10. Какие гидравлические машины называются насосами?
11. Какие гидравлические машины называются гидродвигателями?
12. На какие виды делятся гидравлические двигатели в зависимости от движения выходного звена?
13. Какие гидравлические двигатели называются гидроцилиндрами?
14. Какие гидравлические двигатели называются гидромоторами?
15. Какие гидромшины называются аксиально-поршневыми?

16. Где применяются аксиально-поршневые гидромоторы?
17. Из каких основных частей состоит аксиально-поршневой гидромотор?
18. Опишите принцип действия аксиально-поршневого гидромотора?
19. Какую рабочую жидкость нужно применять при эксплуатации аксиально-поршневого гидромотора?
20. Какие основные технические характеристики имеет аксиально-поршневой гидромотор?
21. Какие гидромашины называются шестеренными?
22. Какую рабочую жидкость нужно применять при эксплуатации шестеренных насосов?
23. Из каких основных частей состоит шестеренный насос?
24. Опишите принцип действия шестеренного насоса.
25. Какие основные технические характеристики имеет насос НШ-32?
26. Какие гидромашины называются пластинчатыми?
27. Из каких основных частей состоит пластинчатый насос БГ12-41?
28. Опишите принцип действия пластинчатого насоса БГ12-41.
29. Какие основные технические характеристики имеет насос БГ12-41?
30. Какие гидравлические машины называются регулируемыи?
31. Какие гидравлические машины называются реверсивными?
32. Из каких основных частей состоит пластинчатый насос Г12-53М?
33. Опишите принцип действия пластинчатого насоса Г12-53М.
34. Какие основные технические характеристики имеет насос Г12-53М?
35. Как классифицируют гидроцилиндры?
36. Назовите области применения гидроцилиндров.
37. Из каких основных частей состоит гидроцилиндр?
38. Опишите принцип действия гидроцилиндра.
39. Из каких основных частей состоит центробежный насос?
40. Опишите принцип действия центробежного насоса.
41. Какие основные технические параметры имеют консольные насосы?

## Лабораторная работа № 6

# ИЗУЧЕНИЕ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ В ГИДРОСИСТЕМАХ ТОРМОЗОВ

**Цель работы:** изучение устройства и функционирования дискового и барабанного тормозных механизмов в гидравлической системе тормозов и его элементов.

### 6.1. Общие сведения

*Тормозная система* предназначена для уменьшения скорости движения и/или остановки транспортного средства или механизма. Она также позволяет удерживать транспортное средство от самопроизвольного движения во время покоя.

По своему назначению и выполняемым функциям тормозные системы подразделяются на:

- 1) рабочая тормозная система;
- 2) запасная тормозная система;
- 3) стояночная тормозная система;
- 4) вспомогательная тормозная система.

*Рабочая тормозная система* служит для регулирования скорости движения транспортного средства и его остановки.

Рабочая тормозная система приводится в действие нажатием на педаль тормоза, которая располагается в ногах у водителя. Усилие ноги водителя передается на тормозные механизмы всех четырех колес.

Тормозные системы также делятся по типам приводов: механический, гидравлический, пневматический и комбинированный. Так, на легковых машинах в настоящее время в основном используется гидравлический привод, а на грузовых – пневматический и комбинированный. Для уменьшения прикладываемого усилия на педаль тормоза устанавливается вакуумный или пневматический усилитель тормозов.

*Запасная тормозная система* служит для остановки транспортного средства при выходе из строя рабочей тормозной системы.

*Стояночная тормозная система* служит для удержания транспортного средства неподвижно на дороге. Используется не только на стоянке, она также применяется для предотвращения скатывания транспортного средства назад при старте на подъеме.

Стояночная тормозная система приводится в действие с помощью рычага стояночного тормоза. Водитель рукой может управлять тормозными механизмами задних либо передних колес.

*Вспомогательная тормозная система* служит для длительного поддержания постоянной скорости (на затяжных спусках) за счет торможения двигателем, что достигается прекращением подачи топлива в цилиндры двигателя и перекрытием выпускных трубопроводов.

Тормозная система включает в себя:

– тормозной механизм. Позволяет притормозить и произвести остановку транспортного средства. Принцип его действия основан на применении сил трения, что обуславливает расположение данного устройства в непосредственной близости от колеса. В соответствии с исполнением различают дисковые и барабанные тормозные механизмы.

– привод. Позволяет производить управление процессом торможения.

## 6.2. Дисковый тормозной механизм

Рассмотрим устройство и функционирование дискового тормозного механизма.

Дисковый тормозной механизм (рис. 6.1) состоит из:

- суппорта;
- одного, двух или четырех тормозных цилиндров;
- двух тормозных колодок;
- тормозного диска.

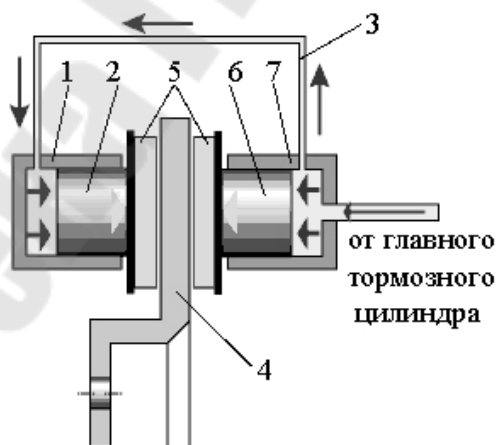


Рис. 6.1. Схема работы дискового тормозного механизма с неподвижным суппортом: 1 – наружный рабочий цилиндр (левого) тормоза; 2 – поршень; 3 – соединительная трубка;

4 – тормозной диск переднего (левого) колеса;

5 – тормозные колодки с фрикционными накладками; 6 – поршень;

7 – внутренний рабочий цилиндр переднего (левого) тормоза

Конструкция дискового тормозного механизма, изображенная на рис. 6.1, называется тормозным механизмом с неподвижным суппортом. Суппорт жестко закреплен на поворотном кулаке переднего колеса автомобиля. Тормозной механизм состоит из тормозного диска, колодок с накладками, неподвижной скобы и двух гидроцилиндров. Чугунный тормозной диск жестко закреплен на ступице и вращается вместе с колесом.

Колодки с накладками и гидроцилиндры размещены в неподвижной скобе суппорта. Причем колодки свободно установлены на двух направляющих пальцах и прижимаются к ним фигурными пружинами. Гидроцилиндры соединены между собой гидравлической трубкой. Через штуцер по гибкому трубопроводу (тормозной шланг) в гидроцилиндры подводится тормозная жидкость. В гидроцилиндре установлен клапан прокачки, предназначенный для удаления воздуха из цилиндра при заправке системы тормозной жидкостью или ее разгерметизацией при ремонте.

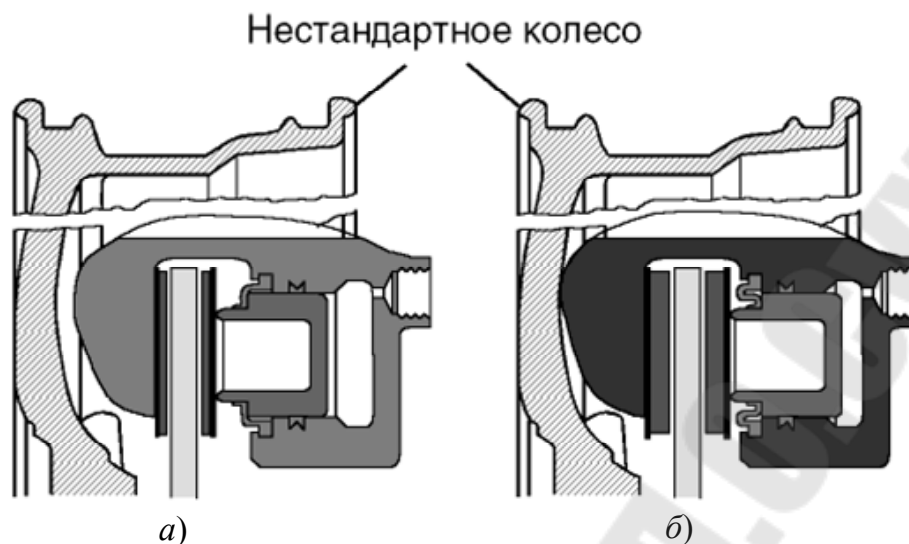
Автоматическая регулировка зазора между колодками и диском осуществляется с помощью резиновых уплотнительных колец. При нажатии водителем на педаль тормоза избыточное давление тормозной жидкости из главного тормозного цилиндра через рабочий контур (тормозной трубопровод) подается в рабочие тормозные цилиндры, и тормозное усилие прикладывается к их поршням, а через них – к тормозным колодкам, в результате тормозные колодки прижимаются к диску. При торможении уплотнительные кольца деформируются в направлении движения поршня.

После прекращения торможения поршни отводятся в исходное положение за счет падения давления тормозной жидкости, легкого биения тормозного диска и упругости резиновых колец, в свою очередь, тормозные колодки отходят от диска и между ними устанавливается требуемый зазор. По мере износа фрикционных накладок зазор между ними и диском регулируется автоматически, так как резиновые уплотнительные кольца отводят поршни от колодок на одно и то же расстояние, определяемое упругой деформацией резиновых колец.

Сила трения между накладками тормозных колодок и диском находится в зависимости от мускульной силы, с которой нога водителя давит на педаль тормоза, тем самым осуществляя торможение вращения колеса автомобиля.

В суппорте дискового тормозного механизма может применяться только один рабочий цилиндр, в этом случае используется так называемый подвижный или «плавающий» суппорт (рис. 6.2).





*Рис. 6.2.* Дисковый тормозной механизм с подвижным «плавающим» суппортом, положение суппорта:  
*а* – с изношенными колодками; *б* – после установки новых колодок

При торможении под действием давления жидкости поршень прижимает внутреннюю тормозную колодку к диску. Под давлением жидкости плавающая скоба (цилиндр и суппорт) перемещается по направляющим пальцам и суппорт прижимает наружную тормозную колодку к диску. Так как давление жидкости одинаково и на поршень и днище цилиндра, то обе тормозных колодки прижимаются к диску с одинаковыми усилиями. После прекращения торможения упругое резиновое кольцо отводит поршень от внутренней тормозной колодки. Гидроцилиндр вместе с суппортом (плавающая скоба) перемещаются по направляющим пальцам и освобождают наружную колодку.

Благодаря своей конструкции, дисковые тормозные механизмы с плавающим суппортом исключают неравномерный износ тормозных колодок. Еще одной характерной особенностью тормозного механизма с подвижным суппортом является меняющееся расстояние от его внешнего габарита до колесного диска в зависимости от износа колодок (рис. 6.2).

Эффект «самоподводящихся» тормозных колодок обеспечивается манжетой поршня.

Рабочие поверхности дисковых тормозов – плоские, и силы, сжимающие колодки и диск, действуют перпендикулярно плоскости вращения диска. Трение на рабочих поверхностях образуется в результате равномерного прижатия колодки к диску, причем возможно повышение давления на рабочих поверхностях тормозов без опасности разрушения диска. Именно такая работа тормозов вызывает рав-

номерный износ трущихся поверхностей и, следовательно, главными преимуществами дисковых тормозов являются постоянство (стабильность) рабочих характеристик и широкие возможности регулировки работы тормозов. Что, в свою очередь, влечет повышение характеристик торможения и безопасности движения легкового автомобиля. В расчете на единицу площади трения по техническим конструктивным характеристикам дисковые тормоза эффективнее барабанных, хотя работают в более высоком температурном режиме, но, благодаря тому что тормозные колодки охватывают сравнительно небольшую часть рабочей поверхности диска, открытая его часть хорошо охлаждается, самоочищается от продуктов износа, воды и грязи.

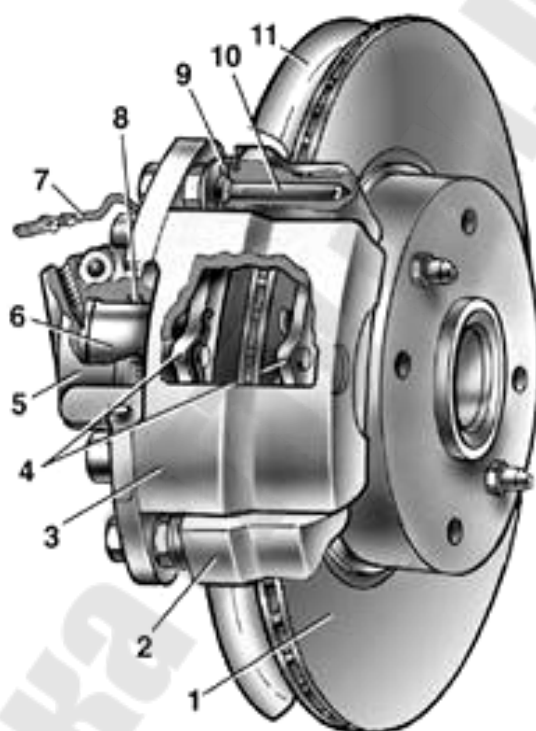


Рис. 6.3. Дисковый тормозной механизм: 1 – тормозной диск; 2 – направляющая колодок; 3 – суппорт; 4 – тормозные колодки; 5 – цилиндр; 6 – поршень; 7 – сигнализатор износа колодок; 8 – уплотнительное кольцо; 9 – защитный чехол направляющего пальца; 10 – направляющий палец; 11 – защитный кожух

Тормозной механизм переднего колеса – дисковый (рис. 6.3), с автоматической регулировкой зазора между колодками и диском, с плавающей скобой и сигнализатором износа тормозных колодок. Скоба образуется суппортом 3 и колесным цилиндром 5, которые стянуты болтами. Подвижная скоба крепится болтами к пальцам 10, которые установлены в отверстиях направляющей 2 колодок. В эти

отверстия закладывается смазка, между пальцами и направляющей колодок установлены резиновые чехлы 9. К пазам направляющей поджаты пружинами тормозные колодки 4, из которых внутренняя имеет сигнализатор 7 износа накладок.

В полости цилиндра 5 установлен поршень 6 с уплотнительным кольцом 8. За счет упругости этого кольца поддерживается оптимальный зазор между колодками и диском.

### 6.3. Барабанный тормозной механизм

Барабанный тормозной механизм (рис. 6.4) состоит из:

- тормозного щита;
- тормозного цилиндра;
- двух тормозных колодок;
- стяжных пружин;
- тормозного барабана.

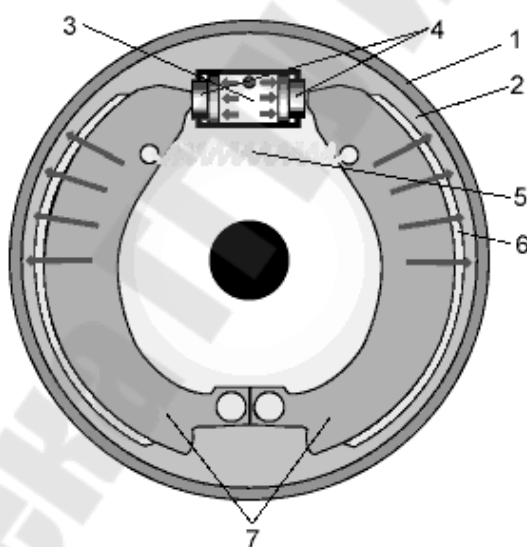


Рис. 6.4. Схема работы барабанного тормозного механизма:

- 1 – тормозной барабан; 2 – тормозной щит; 3 – рабочий тормозной цилиндр;  
4 – поршни рабочего тормозного цилиндра; 5 – стяжная пружина;  
6 – фрикционные накладки; 7 – тормозные колодки

Тормозной щит жестко закреплен на балке заднего моста автомобиля, а на щите, в свою очередь, закреплен рабочий тормозной цилиндр барабанного механизма.

При нажатии водителем на педаль тормоза давление тормозной жидкости, создаваемое в главном тормозном цилиндре, через тормоз-

ные трубопроводы подается в рабочие тормозные цилиндры барабанного тормозного механизма; поршни в рабочих цилиндрах расходятся и передают тормозное усилие на верхние концы тормозных колодок. Тормозные колодки в форме полуколец прижимаются своими накладками к внутренней поверхности круглого тормозного барабана, который при движении автомобиля вращается на ступице вместе с жестко закрепленным на нем колесом.

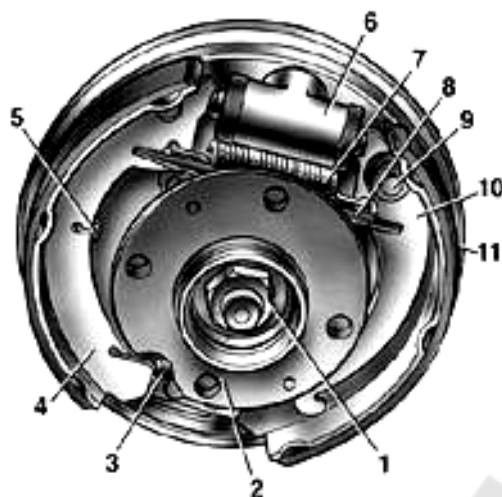
Торможение колеса происходит за счет сил трения, возникающих между накладками колодок и барабаном. Когда же воздействие водителем на педаль тормоза прекращается, стяжные пружины оттягивают колодки на исходные позиции.

Тормозные накладки барабанного механизма охватывают значительную часть рабочей поверхности барабана, что позволяет иметь меньшее, чем у дисковых тормозных механизмов давление жидкости в приводе. Однако создать равномерное давление по всей поверхности соприкосновения накладок колодок и тормозного барабана невозможно, так как усилие, прижимающее тормозную колодку к барабану, приложена только к одному из ее концов, поэтому во время работы тормоза колодка поворачивается относительно своей опоры.

В результате износ накладок и рабочей поверхности барабана получается неравномерным. Неравномерное давление на трущиеся поверхности вызывает также их неравномерный нагрев, что значительно ухудшает работу тормозной системы в целом. При движении вперед накладка передней колодки прижимается навстречу направлению вращения, а задняя колодка – по ходу направления вращения барабана, следовательно, условия работы и износ передней и задней тормозных накладок различны.

Для более равномерного прилегания тормозных накладок к барабану и уменьшения неравномерного износа тормозные колодки жестко не закрепляют. Концы колодок удерживаются только пружинами, что позволяет им свободно перемещаться по опорным поверхностям.

Барабанные тормозные механизмы в основном устанавливаются на задних колесах легковых автомобилей. В этом случае они выполняют функцию тормозных механизмов не только рабочей, но и стояночной системы тормозов.



*Рис. 6.5.* Барабанный тормозной механизм: 1 – гайка крепления ступицы; 2 – ступица колеса; 3 – нижняя стяжная пружина колодок; 4 – тормозная колодка; 5 – направляющая пружина; 6 – колесный цилиндр; 7 – верхняя стяжная пружина; 8 – разжимная планка; 9 – палец рычага привода стояночного тормоза; 10 – рычаг привода стояночного тормоза; 11 – щит тормозного механизма

Тормозной механизм заднего колеса (рис. 6.5) – барабанный, с автоматическим регулированием зазора между колодками и барабаном. Устройство автоматической регулировки зазора расположено в рабочем цилиндре. Его основным элементом является разрезное упорное кольцо, установленное на поршне между буртиком упорного винта и двумя сухарями с зазором 1,25–1,65 мм. Упорные кольца 9 вставлены в цилиндр с натягом, обеспечивающим усилие сдвига кольца по зеркалу цилиндра не менее 343 Н (35 кгс), что превышает усилие на поршне от стяжных пружин 3 и 7 тормозных колодок.

Когда из-за износа накладок зазор 1,25–1,65 мм полностью выбирается, буртик на упорном винте 10 прижимается к буртику кольца 9, вследствие чего упорное кольцо сдвигается вслед за поршнем на величину износа. С прекращением торможения поршни усилием стяжных пружин сдвигаются до упора сухарей в буртик упорного кольца. Таким образом, автоматически поддерживается оптимальный зазор между колодками и барабаном.

#### **6.4. Оборудование и приборы**

В конструкции стенда (рис. 6.6) воссоздана гидравлическая тормозная система автомобилей семейства ВАЗ, гидравлическая схема которой изображена на лицевой панели.

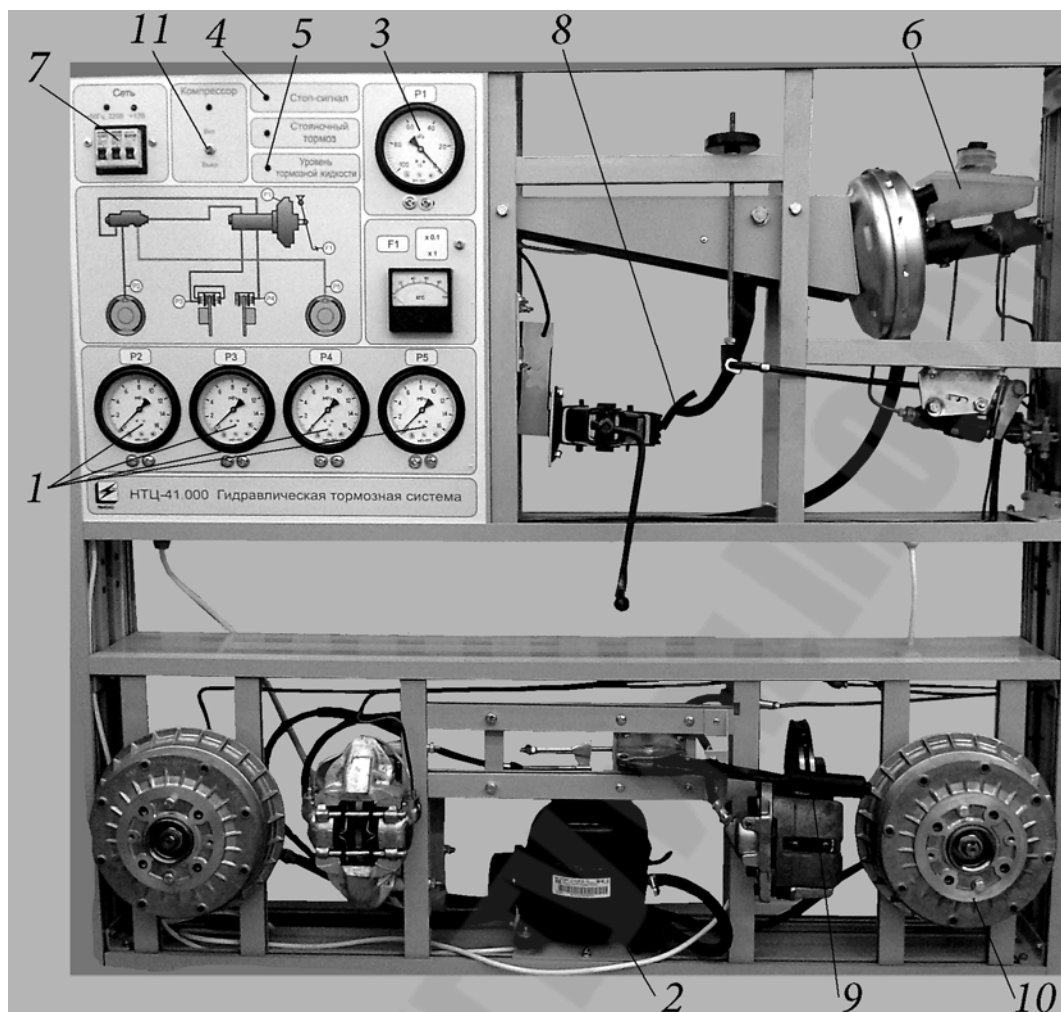


Рис. 6.6. Испытательный стенд

Для контроля и измерения давления тормозной жидкости к каждому рабочему цилиндру подключен манометр *1* (на стенде P2-P5). Для функционирования вакуумного усилителя тормозов в конструкцию стенда введен холодильный компрессор *2*, а на панели стенда установлен вакуумметр *3* (P1) для измерения создаваемого им разрежения. Также имеются индикаторы включения фонарей стоп-сигнала *4* и критического уровня тормозной жидкости *5*. Таким образом, конструкция стенда позволяет смоделировать работу гидравлической тормозной системы легкового автомобиля.

### 6.5. Порядок проведения работы

Перед проведением лабораторной работы необходимо проверить уровень тормозной жидкости в бачке *6* главного тормозного цилиндра (рис. 6.6).

### **6.5.1. Изучение функционирования дискового тормозного механизма**

Включить питание стенда автоматическим выключателем 7 на передней панели.

Нажимая на педаль 8 тормоза, визуально наблюдать работу дискового 9 и барабанного 10 тормозных механизмов.

Отпустить педаль тормоза и проконтролировать падение давления тормозной жидкости в рабочих контурах по манометрам 1.

### **6.5.2. Проверка рабочих цилиндров привода дискового и барабанного тормозных механизмов**

Необходимо удостовериться в отсутствии утечки тормозной жидкости из системы.

Нажатием на педаль тормоза 8 установить давление жидкости 0,5 МПа. Нужно убедиться, что установленное давление удерживается в течение 5 мин.

Не допускается снижение давления из-за утечки тормозной жидкости через уплотнительные элементы, соединения трубопроводов, штуцера клапанов для удаления воздуха или через поры отливки.

Повторить аналогично испытание при давлении жидкости в цилиндре 1, 2, 3–10 МПа.

Для создания необходимого давления тормозной жидкости следует воспользоваться вакуумным усилителем тормозов, для чего кнопкой 11 на передней панели стенда включить вакуумный компрессор 2.

Полученные данные занести в табл. 6.1 и 6.2.

Допускается незначительное (не более 0,5 МПа в течение 5 мин) уменьшение давления, особенно при более высоких давлениях, из-за усадки уплотнителей.

Отпустить педаль 8 привода тормозной системы.

Выключить электропитание стенда автоматическим выключателем 7 на передней панели.

Таблица 6.1

**Результаты измерений функционирования  
дискового тормозного механизма**

Давление в цилиндре	Время наблюдения				
	1 мин	2 мин	3 мин	4 мин	5 мин
1 МПа					
2 МПа					
3 МПа					
4 МПа					
5 МПа					
6 МПа					
7 МПа					
8 МПа					
9 МПа					
10 МПа					

Таблица 6.2

**Результаты измерений функционирования  
барабанного тормозного механизма**

Давление в цилиндре	Время наблюдения				
	1 мин	2 мин	3 мин	4 мин	5 мин
1 МПа					
2 МПа					
3 МПа					
4 МПа					
5 МПа					
6 МПа					
7 МПа					
8 МПа					
9 МПа					
10 МПа					

### 6.6. Контрольные вопросы

1. Для чего предназначена тормозная система?
2. На какие виды подразделяются тормозные системы?
3. Для чего служит рабочая тормозная система?
4. Как приводится в действие рабочая тормозная система?
5. Как классифицируют тормозные системы по типу приводов?
6. Для чего служит запасная тормозная система?
7. Для чего служит стояночная тормозная система?



8. Как приводится в действие стояночная тормозная система?
9. Для чего служит вспомогательная тормозная система?
10. Какие основные части включает в себя тормозная система?
11. Охарактеризуйте конструкцию и принцип действия дискового и барабанного тормозного механизма.
12. Охарактеризуйте и дайте сравнительный анализ конструкций дискового тормозного механизма с подвижным («плавающим») и с неподвижным суппортом на предмет функциональности и надежности.
13. Охарактеризуйте и дайте сравнительный анализ конструкций дискового тормозного механизма с подвижным («плавающим») и с неподвижным суппортом и барабанного тормозного механизма.
14. Дайте сравнительный анализ конструкции дискового тормозного механизма с подвижным («плавающим») и с неподвижным суппортом на предмет сложности их технического обслуживания, диагностики и ремонта.
15. Предложите технические меры по повышению технических характеристик и их стабильности, надежности и долговечности дисковых тормозных механизмов.
16. Предложите технические меры по повышению технических характеристик и их стабильности, надежности и долговечности барабанных тормозных механизмов.
17. Какие изменения или новшества Вы бы внесли в конструкцию дисковых и барабанных тормозных механизмов для упрощения их технического обслуживания и ремонта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калекин, А. А. Основы гидравлики и технической гидромеханики / А. А. Калекин. – М. : Мир, 2008. – 280 с. : ил.
2. Ухин, Б. В. Гидравлика : учеб. пособие / Б. В. Ухин. – М. : ФОРУМ : ИНФА-М, 2009. – 464 с. : ил.
3. Кудинов, А. А. Техническая гидромеханика : учеб. пособие / А. А. Кудинов. – М. : Машиностроение, 2008. – 368 с. : ил.
4. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т. М. Башта [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 424 с.
5. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / под ред. С. П. Стесина. – 4-е изд. – М. : Академия, 2008. – 336 с. : ил.
6. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я. М. Вильнер [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1976. – 416 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

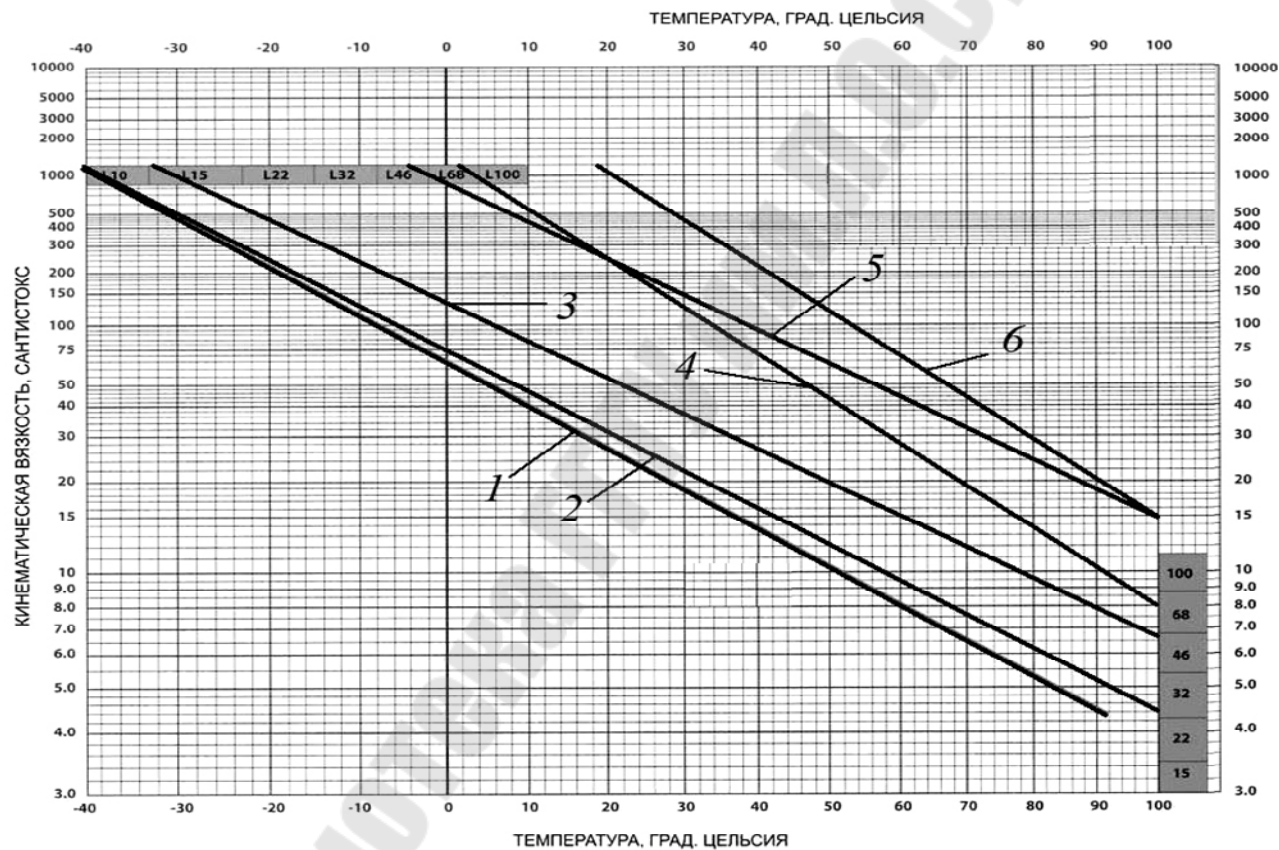


Рис. П.1.1. Зависимость кинематической вязкости некоторых жидкостей от температуры: 1 – масло всесезонное гидравлическое ВМГЗ; 2 – масло промышленное И-12А; 3 – масло промышленное И-30А; 4 – масло промышленное И-40А; 5 – трансмиссионное масло 75W90; 6 – трансмиссионное масло ТАД-17

## Приложение 2

Таблица П.2.1

### Динамическая вязкость минеральных масел, Па · с

Масло	ГОСТ	Температура, °С											
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	<i>m</i>
Турбинное: Тп-22	9972– 74	0,415	0,189	0,085	0,048	0,0318	0,0187	0,0128	0,0091	0,0068	0,0051	0,0040	1,98
Тп-30		0,776	0,31	0,145	0,074	0,0432	0,0272	0,0179	0,0127	0,0092	0,0068	0,0051	2,18
Тп-46		1,575	0,630	0,270	0,139	0,0746	0,0472	0,0297	0,0206	0,0143	0,0104	0,0077	2,30
Индустриальное: И-12А	20799– 75	0,157	0,077	0,044	0,026	0,0176	0,0114	0,0081	0,0060	0,0048	0,0039	0,0033	1,75
И-20А		0,248	0,102	0,064	0,038	0,0244	0,0164	0,0110	0,0083	0,0063	0,0050	0,0044	1,84
И-30А		0,585	0,270	0,126	0,075	0,0442	0,0270	0,0185	0,0138	0,0093	0,0077	0,0050	2,00
И-40А		1,070	0,452	0,207	0,108	0,0610	0,0380	0,0244	0,0171	0,0122	0,0095	0,0073	2,21
И-50А		2,060	0,752	0,298	0,144	0,0792	0,0442	0,0324	0,0208	0,0140	0,0140	0,0076	2,28
Авиационное: МС-14	21743– 76	–	–	–	–	–	0,0930	–	–	–	–	–	2,70
МС-20		6,850	2,430	1,000	0,465	0,2350	0,1315	0,0785	0,0500	0,0339	0,0238	0,0172	2,85
МС-24		–	–	–	–	–	0,1600	–	–	–	–	–	2,95
МК-22		–	3,550	1,860	0,620	0,3030	0,1640	0,0960	0,0605	0,0400	0,0273	0,0205	2,89
Цилиндровое Полисилоксановое: ОМТИ	6411– 76 МРТУ 208–	–	–	–	–	–	–	0,2440	0,1480	0,0860	0,0585	0,0415	
ИВВИОЛЬ-3	140	0,21	0,163	0,129	0,093	0,0820	0,0680	0,0620	0,0550	0,0445	0,0397	0,0374	0,71
		–	–	–	–	–	0,0270	0,0170	0,0120	0,0088	0,0065	0,0052	1,98

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Лабораторная работа № 1.</b> Определение плотности и кинематической вязкости рабочей жидкости .....	6
<b>Лабораторная работа № 2.</b> Определение гидростатического давления .....	15
<b>Лабораторная работа № 3.</b> Изучение режимов движения жидкости.....	24
<b>Лабораторная работа № 4.</b> Исследование характеристики короткого простого трубопровода .....	33
<b>Лабораторная работа № 5.</b> Изучение конструкций гидравлических машин .....	41
<b>Лабораторная работа № 6.</b> Изучение тормозных механизмов в гидросистемах тормозов .....	54
Литература .....	66
Приложения .....	67

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Андреевца Юлия Ахатовна  
Лаевский Дмитрий Викторович**

## **ГИДРАВЛИКА**

**Лабораторный практикум  
по одноименному курсу для студентов  
специальности 1-36 12 01 «Проектирование  
и производство сельскохозяйственной техники»  
дневной и заочной форм обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

Редактор *Т. Н. Мисюрова*  
Компьютерная верстка *Е. Б. Яцук*

Подписано в печать 20.11.13.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 4,38.

Изд. № 37.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:

Издательский центр

Учреждения образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48