

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О.Сухого»

Кафедра «Нефтегазозаготовка и гидроневоавтоматика»

ОТЧЕТ  
по лабораторным работам  
по курсу «Механика жидкости и газа»

Выполнил студент гр. ГА-31

---

(фамилия И.О.)

Проверил ст. преподаватель  
Андреевц Ю.А.

Гомель 2021

# Лабораторная работа № 1

## Определение плотности и кинематической вязкости рабочей жидкости

*Цель работы:* изучить теоретическую информацию, ознакомиться с устройствами для определения плотности и вязкости жидкости, определить плотность и вязкость нескольких рабочих жидкостей и сравнить их со справочными величинами.

### 1.1 Общие сведения

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

**Плотность** жидкости определяет её концентрацию в пространстве – это масса жидкости  $m$ , заключённая в единице объёма  $V$

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3.$$

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

При движении реальной жидкости по внутренним каналам гидропривода расходуется часть энергии жидкости на работу против сил внутреннего трения. Эти безвозвратные потери механической энергии носят название диссипации энергии и представляют собой необратимый переход кинетической энергии потока в тепловую энергию молекулярного движения.

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

Таблица 1.1. Плотность некоторых жидкостей при температуре 20°C 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** — это свойство жидкости сопротивляться сдвигу её слоёв, которое проявляется в результате движения. Вязкость — это свойство противоположное текучести: более вязкие жидкости (глицерин, смазочные масла и т.д.) являются менее текучими, и наоборот.

При течении жидкости вдоль твёрдой стенки происходит торможение потока, из-за вязкости (рис. 1.1). Скорость слоев жидкости  $v$  уменьшается при уменьшении расстояния  $y$  от стенки вплоть до  $v = 0$  при  $y = 0$ . Между слоями жидкости происходит проскальзывание, и возникают напряжения трения.

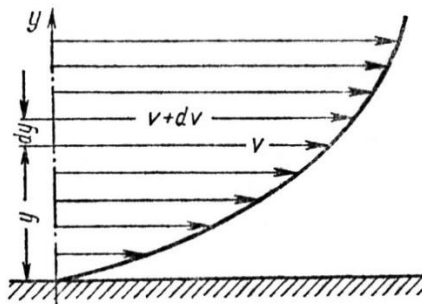


Рисунок 1.1. – Действие сил внутреннего трения

**Закон жидкого трения Ньютона:** напряжения, возникающие при деформации потока жидкости, пропорциональны градиенту скорости в движущихся слоях жидкости

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

где  $\mu$  - коэффициент пропорциональности – динамический коэффициент вязкости жидкости;  $dv$  - изменение скорости, соответствующее изменению координаты  $dy$ .

Единицы измерения динамического коэффициента вязкости жидкости:

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

Для практических расчетов установившегося движения жидкости 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 не зависит от кинематических характеристик движения (т.е. от распределения скоростей).

Для минеральных масел, применяемых в гидроприводах, кинематический коэффициент вязкости  $\nu_T$  при любой температуре  $T$  °С можно определить по формуле

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

где  $\nu_{50}$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости при температуре 50 °С (таблица 1.2);

$n$  – показатель степени, зависящий от вязкости масла при 50 °С  $\nu_{50}$

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

Таблица 1.2. Значения  $n$  в зависимости от кинематического коэффициента вязкости жидкости при температуре 50 °С

$v_{50}$ , сСт	$n$	$v_{50}$ , сСт	$n$	$v_{50}$ , 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 (рис.1.2), 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

$$1^{\circ}\text{E} = t/t_{\text{вод}},$$

где  $t_{\text{вод}} = 51,6$  с.

Формула для пересчёта градусов Энглера в стоксы для минеральных масел

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

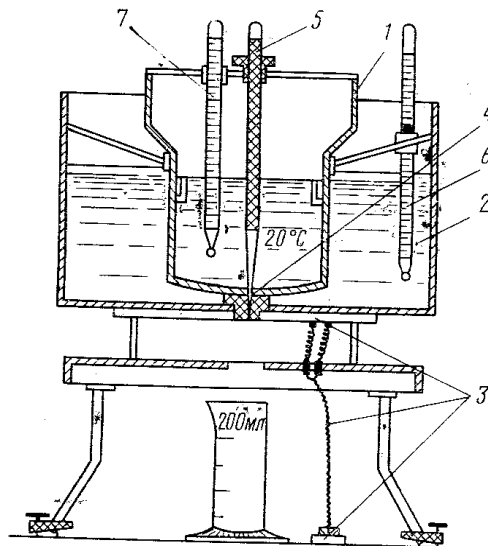


Рисунок 1.2 - Вискозиметр Энглера: 1 - сосуд с испытуемой жидкостью, 2 - водяная баня, 3 – нагревательный прибор; 4 - калиброванное отверстие; электрический прибор, 5 – игла запорная; 6 и 7 - термометры,

## 1.2 Оборудование и приборы

При определении кинематической вязкости жидкостей в лабораторных условиях применяется следующая аппаратура:

- 1) Наборы капиллярных стеклянных вискозиметров типа ВПЖ-2 (рис. 1.3, а). Внутренний диаметр капилляра: 0,99 мм и 0,73 мм.
- 2) Секундомер.

При определении плотности жидкостей применяется следующая аппаратура:

- 1) Набор денсиметров типа АОН (ареометры общего назначения) по ГОСТ 18481-81 с ценой деления  $20 \div 0,5 \text{ кг/м}^3$  (рис. 1.3, б).
- 2) Стеклянные цилиндры, заполненные испытуемой жидкостью.
- 3) Термометр для определения температуры жидкости.

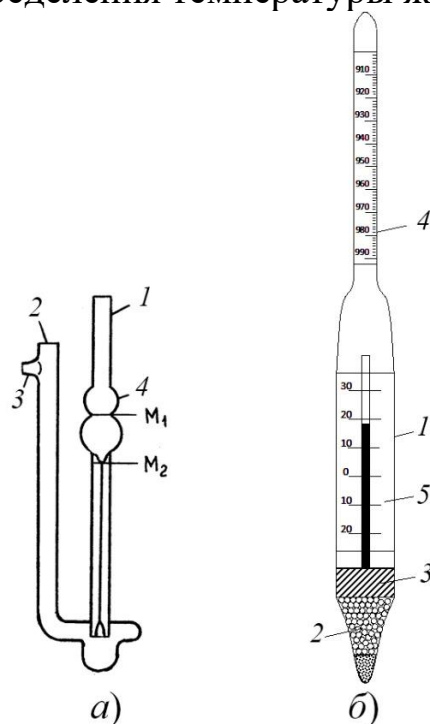


Рисунок 1.3. - Приборы для измерения: а) вискозиметр стеклянный капиллярный типа ВПЖ-2; б) ареометр типа АОН

### 1.3 Порядок проведения работы

#### 1.3.1 Определение вязкости жидкости

- 1) К концу трубки 1 лабораторного вискозиметра (рис. 1.3, а) присоединить резиновую трубку с грушей (или другим устройством) для создания разрежения.
- 2) Пропустить жидкость через прибор для получения смазывающего слоя на внутренней поверхности прибора, т.о. чтобы жидкость поднялась выше уровня  $M_1$  (рис. 1.3, а).
- 3) Измерить температуру окружающей среды по термометру.
- 4) Установить уровень жидкости так чтобы мениск жидкости находился выше уровня  $M_1$ , примерно до середины расширения 4 и отсоединить грушу. Определить время опускания мениска жидкости от метки  $M_1$  до  $M_2$ .
- 5) Произвести несколько измерений времени истечения 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, определить по его шкале показание плотности.
- 5) Вынуть денсиметр из цилиндра и удалить жидкость с его поверхности.
- 6) Произвести измерение плотности для нескольких жидкостей.

### 1.4 Обработка опытных данных

#### 1) Определение вязкости жидкости

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

$$t_{\text{cp}} = \frac{\sum t_i}{n} = \text{_____}, \text{ с}$$

где  $t_i$  – время течения жидкости в вискозиметре по опыту, с;  
 $n$  – количество опытов.

Определить коэффициент кинематической вязкости испытуемой жидкости по формуле

$$\nu = C \cdot t_{\text{cp}} \cdot K = \text{_____}, \text{ сСт}$$

где  $C = 1$  – коэффициент, учитывающий изменение гидростатического напора жидкости в результате расширения её при нагревании.

$K$  – постоянная вискозиметра, сСт/с (указана на приборе).

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.3 и определить вид рабочей жидкости.

Таблица 1.3 - Результаты измерений и расчетов вязкости жидкости

№ п.п	Время течения жидкости $t, \text{с}$				Температура $T, ^\circ\text{C}$	Кинематический коэффициент вязкости, $\nu$ , сСт	Вид рабочей жидкости
	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_{\text{cp}}$			

#### 2) Измерение плотности жидкости

Измерить температуру рабочей жидкости  $T = \text{_____} ^\circ\text{C}$ .

Определить плотность жидкости по денсиметру

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3$$

Для получения сравнительных результатов, произвести перерасчет экспериментально полученных значений плотности по уравнению

$$\rho_0 = \rho + \alpha_\rho \cdot \Delta T = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3$$

где  $\rho_0$  – плотность рабочей жидкости при температуре 20 °С, 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(табл. 1.4).

Таблица 1.4. Значения средней температурной поправки  $\alpha_\rho$

Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Поправка на 1°С $\alpha_\rho$ , кг/м <sup>3</sup> ·°С	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Поправка на 1°С $\alpha_\rho$ , 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

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 - Результаты измерений и расчетов плотности жидкости

Вид жидкости	Темпе- ратура, $T$ , °С	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Температур- ная поправка плотности, $\alpha_\rho$ , кг/м <sup>3</sup> ·°С	Плотность при 20 °С, $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	
				расчетная	спра- вочная

## 1.5 Контрольные вопросы

- 1) Какие свойства рабочих жидкостей относятся к основным? Что они характеризуют?
- 2) По какой формуле определяется плотность?
- 3) В каких единицах измеряется плотность?
- 4) Что такое плотность рабочей жидкости?
- 5) Что характеризует плотность и от чего зависит в общем случае?
- 6) Что определяет плотность жидкости?
- 7) Чему равна плотность наиболее распространенных жидкостей?
- 8) Что такое денсиметр и для чего он используется?
- 9) Как производится измерение плотности при проведении эксперимента?
- 10) По какой формуле производится пересчет плотности на температуру, соответствующую эксперименту?
- 11) Что такое вязкость жидкости?
- 12) Какими коэффициентами характеризуется вязкость?
- 13) Как вязкость связана с текучестью?
- 14) Почему вязкость называется важнейшим свойством рабочих жидкостей?
- 15) При каких условиях проявляется вязкость жидкости?
- 16) Сформулируйте закон жидкого трения Ньютона.
- 17) Как связаны между собой динамическая и кинематическая вязкость?
- 18) В каких единицах измеряется динамическая и кинематическая вязкость в системе СИ?
- 19) Какие единицы измерения вязкости наиболее часто используются в инженерных расчетах?
- 20) Как проявляется зависимость вязкости жидкости от температуры?
- 21) По какой формуле можно определить вязкость масла при любой рабочей температуре?
- 22) Какими приборами измеряется вязкость?
- 23) Как определяется вязкость при измерении вискозиметром Энглера?
- 24) По какой формуле производится пересчет градусов Энглера в Стоксы для минеральных масел?