

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 её свойства, которые определяют особенности поведения жидкости при её движении. Такими являются свойства, характеризующие концентрацию жидкости в пространстве, свойства, определяющие процессы деформации жидкости, определяющие величину внутреннего трения в жидкости при её движении, поверхностные эффекты.

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

Плотностью ρ (кг/м³) называют массу жидкости, заключённую в единице объёма; для однородной жидкости определяется по формуле:

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

где m – масса жидкости в объёме 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 (таблица 1.1).

Таблица 1.1.

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

Жидкость	ρ , кг/м ³	Жидкость	ρ , кг/м ³
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 её слоёв и проявляется в результате её движения. Вязкость есть свойство противоположное текучести: более вязкие жидкости (глицерин, смазочные масла и т.д.) являются менее текучими, и наоборот.

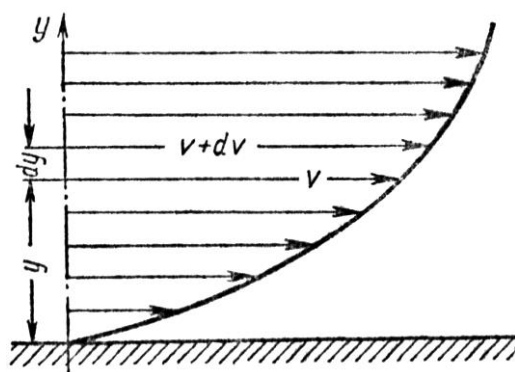


Рис. 1.1. Действие сил внутреннего трения

При течении вязкой жидкости вдоль твёрдой 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 движущихся слоях жидкости. Таким образом, закон жидкого трения Ньютона имеет вид:

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

где μ - 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 ν_T при температуре $T^\circ\text{С}$ можно определить по формуле:

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

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

n – показатель степени, зависящий от ν_{50} :

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

Таблица 1.2.

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

$\nu_{50}, \text{сСт}$	n	$\nu_{50}, \text{сСт}$	n	$\nu_{50}, \text{сСт}$	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^3 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: $1^\circ\text{Е} = t/t_{\text{вод}}$, где $t_{\text{вод}} = 51,6 \text{ с}$. Формула для пересчёта градусов Энглера в стоксы в случае минеральных масел:

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

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).

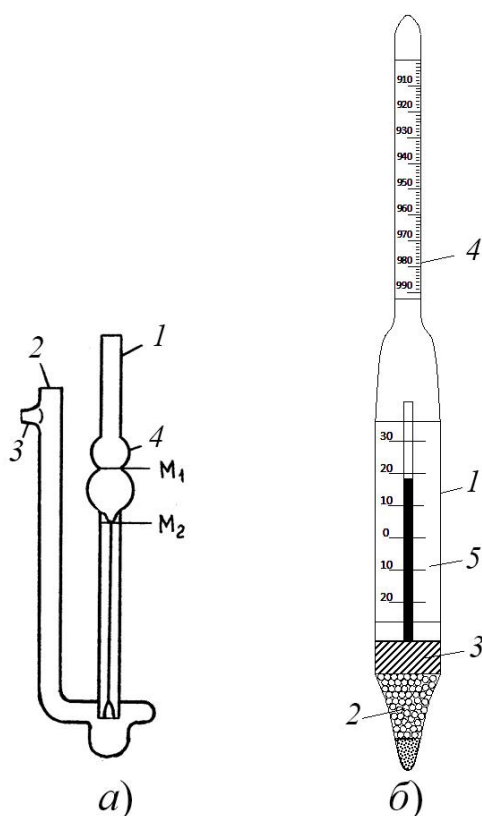


Рис. 1.2. Приборы для измерения: а) вискозиметр стеклянный капиллярный типа ВПЖ-2; б) ареометр типа АОН

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 18481-81 с ценой деления $20 \div 0,5 \text{ кг/м}^3$ (рис. 1.2, б).

2. Стекланные цилиндры, заполненные испытуемой рабочей жидкостью.
3. Термометр для определения температуры испытуемой рабочей жидкости.

1.3. Порядок проведения работы

1.3.1. Определение вязкости жидкости.

- 1) Перед определением вязкости вискозиметр должен быть тщательно промыт растворителем (бензин–растворитель ГОСТ 443-76, бензин авиационный Б-70 ГОСТ 1012-72, ацетон, спирт этиловый ректификованный) и высушен. Рекомендуется после растворителя вискозиметр промыть дистиллированной водой и высушить пропуская через прибор отфильтрованного от пыли воздуха.
- 2) Перед испытанием жидкость профильтровывают через бумажный фильтр.
- 3) Вискозиметр наполняют испытуемой жидкостью и устанавливают вертикально. На конец трубки 1 (рис. 1.2, а) одевают резиновую трубку с грушей (или другим устройством).
- 4) Пропустить жидкость через прибор для получения смазывающего слоя на внутренней поверхности прибора, т.о. чтобы жидкость поднялась выше уровня M_1 (рис. 1.2, а).
- 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 1 с атмосферой и определить время опускания мениска жидкости от метки M_1 до M_2 .
- 7) Во всех вискозиметрах производят 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 формуле:

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

где C – коэффициент, учитывающий изменение гидростатического напора жидкости в результате расширения её 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 четвёртой значащей цифры (например 1,255; 16,47; 193,1; 1735) при температуре опыта.
- 4) Полученные результаты заносят в таблицу 1.3 и по приложению 1 и 2 определяют 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, ν , 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 ρ_0 – плотность рабочей жидкости при температуре 20 °С, кг/м³;

ρ - плотность при температуре испытания, кг/м³;

ΔT - разность температуры опыта и нормальной температуры в 20 °С;

α_ρ - средняя температурная поправка плотности, кг/м³·°С. Численные значения средней температурной поправки приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4.

Значения средней температурной поправки α_ρ

Плотность ρ , кг/м ³	Поправка на 1°С α_ρ , кг/м ³ ·°С	Плотность ρ , кг/м ³	Поправка на 1°С α_ρ , кг/м ³ ·°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 таблицу 1.5.

Таблица 1.5.

Результаты измерений и расчетов плотности жидкости

Вид жидкости	Температура, T , °С	Плотность, ρ , кг/м ³	Температурная поправка плотности, α_ρ , кг/м ³ ·°С	Плотность при 20 °С, ρ_0 , кг/м ³	
				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, возникающем 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?

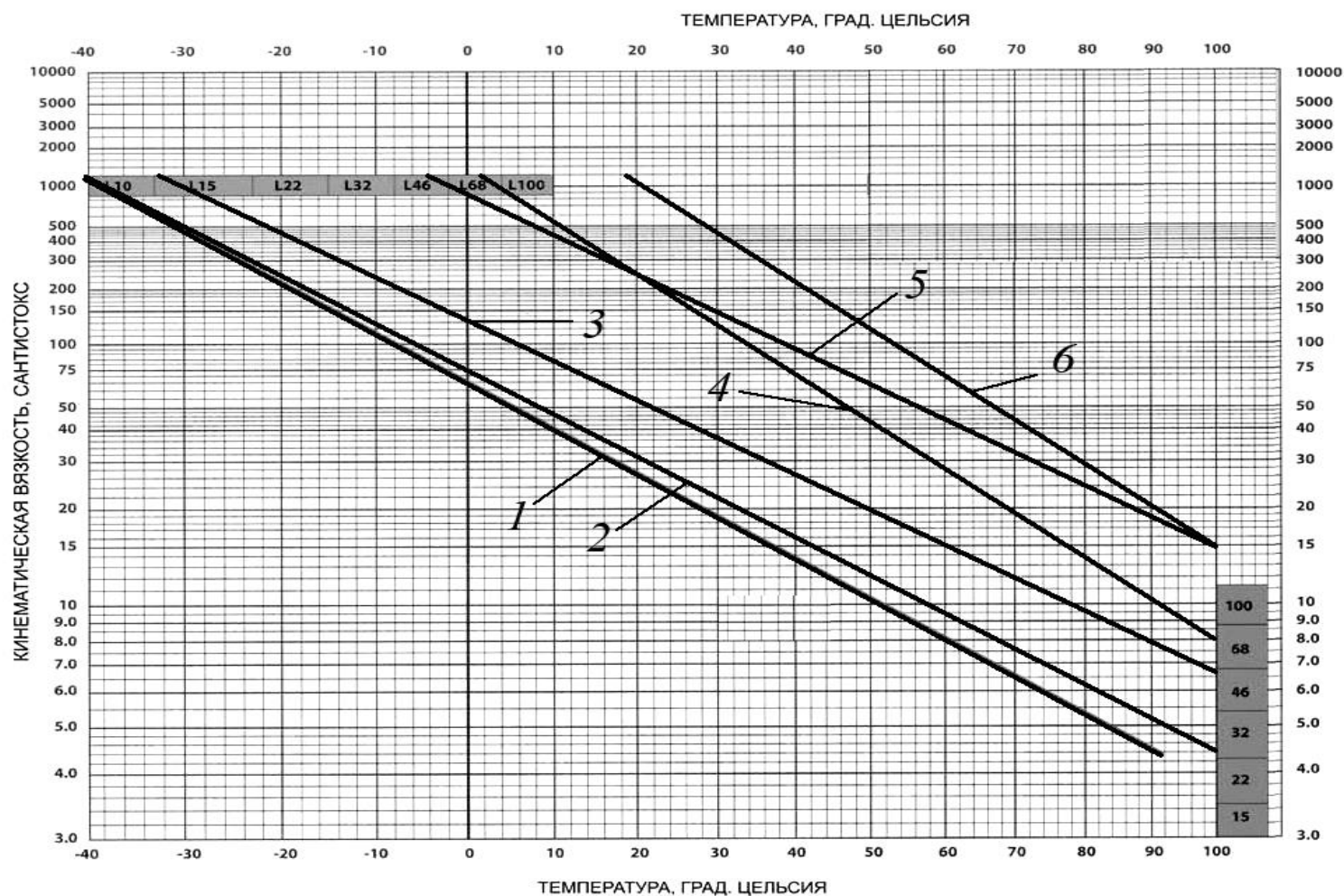


Рис. П.1.1. Зависимость кинематической вязкости некоторых жидкостей от температуры: 1 — масло всесезонное гидравлическое ВМГЗ; 2 — масло промышленное И-12А; 3 — масло промышленное И-30А; 4 — масло промышленное И-40А; 5 — трансмиссионное масло 75W90; 6 — трансмиссионное масло ТАД-17.

Приложение 2

Динамическая вязкость минеральных масел, Па·с

Масло	ГОСТ	Температура, °С											
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	m
Турбинное:													
Тп-22	9972-	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	74	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		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	20799	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	-75	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	—	—	—	—	—	0,0930	—	—	—	—	—	2,70
МС-20	-76	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													
Полисилоксано-	6411-	—	—	—	—	—	—	0,2440	0,1480	0,0860	0,0585	0,0415	
вое:	76	0,21	0,163	0,129	0,093	0,0820	0,0680	0,0620	0,0550	0,0445	0,0397	0,0374	0,71
ОМТИ	МРТУ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ИВВИОЛЬ-3	208-	—	—	—	—	—	0,0270	0,0170	0,0120	0,0088	0,0065	0,0052	1,98
	140												

