

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТИ

**Методические указания
к выполнению лабораторной работы по курсу
гидравлики, гидромашин и гидропневмопривода
для студентов специальностей
190601, 190603, 190201, 190202, 260601, 151001,
151002, 220301, 280101, 140211, 150201, 050502**

Курган 2009

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Гидравлика и гидропневмопривод»
(специальности 190601, 190603, 190201, 190202,
260601, 151001, 151002, 220301, 280101, 140211,
150201, 050502)

Составил: канд. техн. наук, доцент В.А. Савельев

Утверждены на заседании кафедры «20» февраля 2009 г.

Рекомендованы методическим советом университета
«31» марта 2009 г.

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТИ

Цель работы: Ознакомление с методиками экспериментального определения плотности, температурного расширения, вязкости и поверхностного натяжения жидкостей.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖИДКОСТЯХ

Жидкостью называется физическое тело, обладающее свойством текучести, не имеющее своей формы и принимающее форму омываемых ею твердых тел.

Жидкости, как и любое физическое тело, состоят из молекул. Однако для упрощения их изучения в механике жидкости молекулярное строение и молекулярные движения не рассматриваются. Принимается гипотеза сплошности жидкой среды, согласно которой считается, что в жидкости нет разрывов и пустот и учитываются только средние характеристики молекулярного движения, например, температура и давление. Жидкость заменяется моделью, позволяющей изучать движения, вызванные только внешними силами.

Гипотеза о сплошности среды показывает, что любая функция, характеризующая состояние жидкости, непрерывна, дифференцируема и позволяет рассматривать механические характеристики жидкостей как функции координат и времени.

Различают два вида жидкостей:

1) капельные (несжимаемые), характеризующиеся большим сопротивлением сжатию и малым сопротивлением растягивающим усилиям. К ним относят воду, нефть, минеральные масла, керосин, бензин, ртуть;

2) газообразные (сжимаемые), характеризующиеся большой сжимаемостью и полным отсутствием сопротивления растягивающим усилиям (все газы при обычных условиях).

В гидравлике рассматривают преимущественно капельные жидкости, однако многие свойства, законы механики капельных и газообразных жидкостей одинаковы при малых перепадах температур и давлений, скорости движения менее 70 м/с.

Жидкости, существующие в природе, называются реальными. Для упрощения и облегчения теоретических выводов и решения практических задач используют понятие идеальной жидкости, под которым подразумевают жидкость, обладающую полным отсутствием сил внутреннего трения, абсолютной несжимаемостью, не оказывающей сопротивление силам растяжения и среза.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

К основным физическим свойствам жидкости относятся плотность, сжимаемость, температурное расширение, вязкость, поверхностное натяжение.

Плотность. Плотностью называется масса жидкости m в единице объема V $\rho = \frac{m}{V}, \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$. $\left(\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{ (при } t=4^\circ\text{C)}; \rho_{\text{нефть}} = 850 \div 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$.

Прибор для измерения плотности жидкости называется ареометр. Он представляет собой стеклянный полый цилиндр, в нижней части которого размещен балласт (металлическая дробь). В верхнем стержне ареометра расположена проградуированная в кг/м^3 с увеличением плотности сверху вниз шкала.

Сжимаемость. Это свойство жидкости изменять объем под действием давления. Количественно сжимаемость оценивается коэффициентом объемного сжатия β_p [Па^{-1}]. Коэффициент β_p показывает уменьшение объема жидкости V при повышении давления p на единицу $\beta_p = -\frac{\Delta V}{V_0 \Delta p}$;

где ΔV – изменение объема, V_0 – начальный объем, $\Delta p = p_1 - p_2$ – изменение давления. Сжимаемость капельных жидкостей следует учитывать только при очень высоких давлениях и в большинстве случаев ею можно пренебречь.

Температурное расширение. Расширение жидкости при изменении температуры характеризуется коэффициентом температурного расширения β_t [$^\circ\text{C}^{-1}$]. Коэффициент температурного β_t выражает относительное увеличение объема жидкости при увеличении температуры на 1°C и постоянном давлении

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t},$$

где ΔV – изменение объема;

V_0 – первоначальный объем жидкости;

$\Delta t = t - t_1$ – изменение температуры.

Изменение плотности жидкости с повышением температур можно определить при помощи коэффициента температурного расширения по формуле

$$\rho = \frac{\rho_n}{1 + \beta_t \Delta t},$$

где ρ и ρ_n – плотность жидкости при температуре t и t_n соответственно;

Δt – изменение температуры, равное $t - t_n$.

Для капельных жидкостей значение коэффициента температурного расширения мало. Однако при больших переменах температуры изменение плотности надо учитывать.

Вязкость – свойство жидкости оказывать сопротивление своему движению. Между слоями жидкости действуют касательные силы внутреннего тре-

ния: движущийся быстрее слой увлекает за собой слой, который двигается медленнее, а тот в свою очередь тормозит первый.

В результате действия сил трения механическая энергия жидкости при движении переходит в тепловую.

Согласно закону вязкостного трения Ньютона касательное напряжение τ в жидкости описывается зависимостью

$$\tau = \pm \mu \frac{dv}{dl},$$

где μ - коэффициент динамической вязкости;

$\frac{dv}{dl} = \text{grad } v$ - поперечный градиент скорости;

dv - скорость смещения слоев в жидкости относительно друг друга;

dl - расстояние между осями соседних слоев жидкости.

В системе Си динамическая вязкость измеряется $[Па \cdot с]$ или $\left[\frac{Н}{м^2} \cdot с \right]$.

Для практических целей пользуются коэффициентом кинематической вязкости ν , равным отношению коэффициента динамической вязкости к плотности рассматриваемой жидкости

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

где ν - коэффициент кинематической вязкости $\left(\frac{м^2}{с} \right)$;

μ - коэффициент динамической вязкости $(Па \cdot с)$;

ρ - плотность $\left(\frac{кг}{м^3} \right)$.

Вязкость жидкости зависит от различных факторов. Особенно сильно на вязкость влияет изменение температуры жидкости. С увеличением температуры вязкость жидкости уменьшается, но становится больше с увеличением давления.

При увеличении содержания воздуха в жидкости вязкость уменьшается.

Вязкость жидкости измеряется приборами, называемыми вискозиметрами. Конструкции вискозиметров весьма разнообразны. Для более вязких жидкостей применяют вискозиметр Энглера, капиллярный вискозиметр, вискозиметр Стокса.

Вискозиметр Энглера состоит из емкости с отверстием, через которое при температуре 20°C определяют время слива дистиллированной воды t_{H_2O} и испытуемой жидкости $t_{ж}$, вязкость которой требуется определить. Отношение величин называется условной вязкостью $^{\circ}ВУ$ или градусом Энглера $^{\circ}Е$ (безразмерная величина)

$$^{\circ}BY = ^{\circ}E = \frac{t_{ж}}{t_{H_2O}}.$$

Для перехода от условной вязкости к коэффициенту кинематической вязкости пользуются эмпирической формулой

$$\nu = \left(0,0731^{\circ}E - \frac{0,0631}{^{\circ}E} \right) \cdot 10^{-4}, \left(\frac{M^2}{c} \right).$$

Капиллярный вискозиметр состоит из емкости с капилляром. На емкости имеются метки. Вязкость определяется по времени истечения жидкости из емкости между метками через капилляр.

Кинематическую вязкость жидкости вычисляют по формуле

$$\nu = M \cdot \tau,$$

где M – постоянная вискозиметра $\left(\frac{M^2}{c^2} \right)$ (определяется из паспорта прибора);

τ – среднее арифметическое время истечения жидкости в вискозиметре, [с].

Вискозиметр Стокса содержит цилиндрическую емкость с испытуемой жидкостью и шарик, материал и характеристики которого заранее известны. На цилиндре нанесены метки, расстояние между которыми указано в паспорте прибора.

Исследование заключается в измерении времени t прохождения шарика между метками без соприкосновения со стенками вискозиметра.

Значение кинематического коэффициента вязкости жидкости определяется по формуле

$$\nu = \frac{g \cdot d_{ш}^2 \cdot t \cdot \left(\frac{\rho_{ш}}{\rho_{ж}} - 1 \right)}{\left[18 \cdot \ell + 43,2 \cdot \ell \cdot \left(\frac{d_{ш}}{D} \right) \right]},$$

где g – ускорение свободного падения;

$d_{ш}$ – диаметр шарика;

D – диаметр цилиндра (внутренний);

$\rho_{ш}$, $\rho_{ж}$ – плотности материала шарика и жидкости соответственно;

ℓ – расстояние между метками прибора.

Закон Ньютона для внутреннего трения в жидкости существенно отличается от законов трения твердых тел. В твердых телах существует трение покоя. Сила трения пропорциональна нормальному давлению и мало зависит от относительной скорости движения. В жидкостях, подчиняющихся закону Ньютона, при отсутствии движения сила трения также отсутствует.

Существуют жидкости, которые не подчиняются этому закону (аномальные жидкости). К ним относятся эмульсии, коллоидные растворы, битумы, глинистые растворы, нефтепродукты при температурах застывания. В таких жид-

костях движение начинается после того, как касательные напряжения достигнут некоторого значения, называемого начальным напряжением сдвига. Для них справедлива формула Бингема, определяющая величину касательных напряжений τ

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{dv}{dn},$$

где η - коэффициент структурной вязкости;

$\frac{dv}{dn}$ - градиент скорости;

τ_0 - начальное напряжение сдвига.

Аномальные жидкости получили название бингемовских. Эти жидкости при напряжении $\tau < \tau_0$ ведут себя как твердые тела, но начинают течь при $\tau \geq \tau_0$. В дальнейшем градиент скорости пропорционален разнице $\tau - \tau_0$.

При движении этих жидкостей по трубопроводу наблюдаются три режима движения: структурный, ламинарный, турбулентный.

Структурный. Для начала движения необходим начальный перепад давления в трубопроводе $\Delta\rho_0$, после чего жидкость отделяется от стенок и начинает двигаться как твердое тело.

Ламинарный. При увеличении перепада давления $\Delta\rho > \Delta\rho_0$ увеличивается скорость движения раствора, вблизи стенок развивается ламинарный режим. С увеличением скорости движения потока структурный режим полностью переходит в ламинарный.

Турбулентный. При дальнейшем увеличении скорости режим переходит в турбулентный.

Поверхностное натяжение – свойство жидкости образовывать поверхностный слой притягивающихся взаимно молекул, стремящихся придать объему жидкости форму с минимальной поверхностью. Силы поверхностного натяжения развивают молекулярное давление в жидкости, нормальное к ее поверхности.

Сила поверхностного натяжения характеризуется коэффициентом поверхностного натяжения σ , который представляет собой силу, действующую по касательной к поверхности жидкости и приходящуюся на единицу длины линии свободной поверхности. В системе Си коэффициент поверхностного натяжения имеет размерность $\left[\frac{H}{M} \right]$.

Влияние поверхностного натяжения учитывают при работе с жидкостными приборами для измерения давления, при истечении жидкости из малых отверстий, при фильтрации и образовании капель в свободных струях.

Измерение поверхностного натяжения выполняют сталагмометром методом отрыва капель. Сталагмометр содержит мерную емкость с испытуемой

жидкостью и капилляр, который расширяется на свободном конце для наполнения жидкости в виде капли. Сила поверхностного натяжения в момент отрыва капли равна ее весу (силе тяжести) и определяется по плотности и числу капель, полученных при опорожнении емкости прибора

$$\sigma = \frac{K\rho}{h},$$

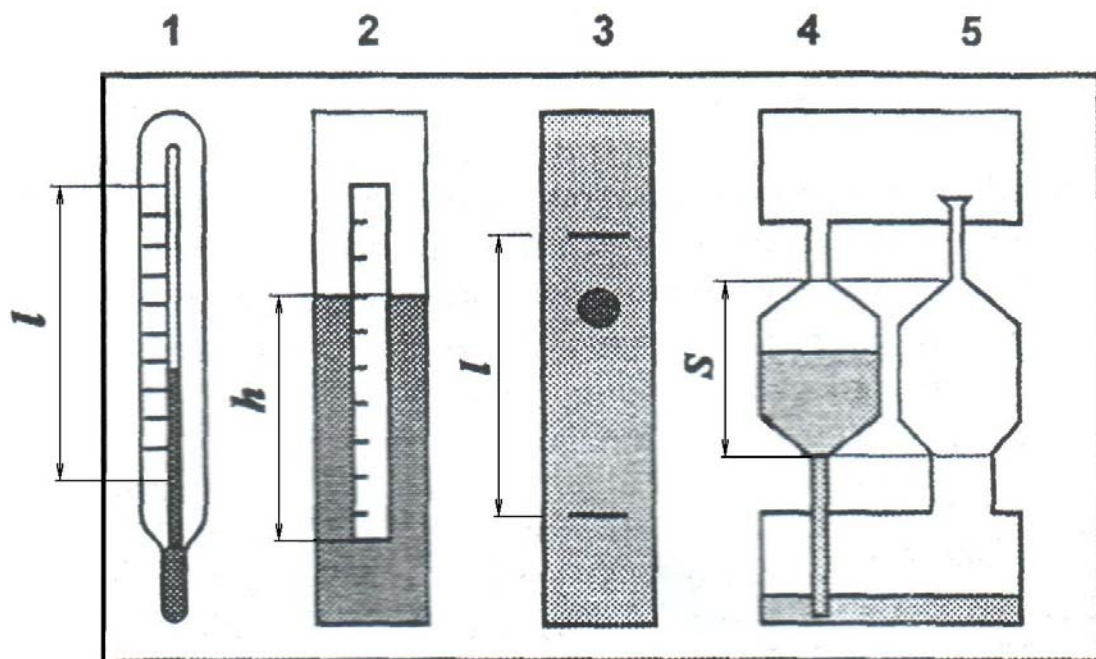
где K - постоянная сталагмометра $\left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}^2} \right]$;

ρ - плотность испытуемой жидкости $\left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$;

h - число капель.

СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Устройство для изучения физических свойств жидкости содержит пять приборов, выполненных в общем прозрачном корпусе, на котором указаны для обработки результатов опытов параметры разных приборов.



1 – термометр; 2 – ареометр; 3 – вискозиметр Стокса;
4 – капиллярный вискозиметр; 5 - сталагмометр
Рисунок 1 – Схема лабораторного стенда

Лабораторный стенд входит в состав портативной лаборатории «Капелька».

Термометр 1 показывает температуру окружающей среды и, следовательно, температуру жидкостей во всех устройствах. Принцип действия термометра основан на тепловом расширении жидкостей. Изменение объема термометрической жидкости поднимает ее уровень в капилляре. Значение температуры указывает уровень показаний шкалы термометра ℓ . В качестве рабочей жидкости используется подкрашенный спирт.

Ареометр 2 определяет плотность жидкости поплавковым методом. Глубина погружения ареометра h является мерой плотности жидкости и считывается со шкалы по верхнему краю мениска жидкости в стержне прибора.

Вискозиметр Стокса 3 позволяет определить плотность жидкости за время прохождения шарика между метками прибора S .

Запуск прибора в работу производится его переворачиванием на 180° . При измерении шарик не должен касаться стенок прибора.

Капиллярный вискозиметр 4 фиксирует изменение объема жидкости в емкости прибора между метками S . Время истечения испытуемой жидкости измеряется секундомером. Набор жидкости в емкость прибора осуществляется его переворачиванием на 180° .

Сталагмометр 5 позволяет визуально определить число капель, отрывающихся от капиллярной трубки за время опорожнения емкости прибора между метками S . Измерения проводят при перевернутом на 180° приборе.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Определить температуру в помещении по показаниям термометра. Замерить расстояние ℓ от 0 до фактической температуры.
- 2 Измерить глубину погружения h (см) ареометра в жидкость по шкале прибора.
- 3 Замерить расстояние ℓ (см) между метками вискозиметра Стокса и время τ (с) прохождения шариком этого расстояния.
- 4 Замерить время τ (с) истечения испытуемой жидкости капиллярного вискозиметра между метками S .
- 5 Подсчитать число капель h , отрывающихся от капиллярной трубки сталагмометра при изменении уровня жидкости в емкости прибора между метками S . Опыт повторить три раза и вычислить среднее арифметическое значение числа капель h .
- 6 Результаты измерений и постоянные приборов занести в протокол испытаний.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№ п/п	Прибор	Жид- кость	Определение величины							
			1	Термометр	Спирт C ₂ H ₅ OH	$r, \text{ мм}$	$W \text{ мм}^3$	$\Delta T^\circ\text{C}$	$\ell, \text{ см}$	$\Delta W \text{ мм}^3$
2	Ареометр	Вода H ₂ O	$m, \text{ г}$	$d, \text{ мм}$	$h, \text{ см}$	$\rho \text{ кг/м}^3$		$\rho_T^{\text{табл}} \text{ кг/м}^3$		
3	Вискозиметр Стокса	Масло М 10	P_m	$\tau, \text{ с}$	$\ell, \text{ см}$	$d^{\text{ш}}, \text{ мм}$	$D, \text{ м}$	$\rho_{\text{ш}} \text{ кг/м}^3$	$\nu \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$\nu_{\text{табл}} \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$
4	Капилляр- ный вискозиметр	Масло М 10	$M \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$		$\tau, \text{ с}$	$\nu \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$		$T^\circ\text{C}$	$\nu_{\text{табл}} \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	
5	Сталагмо- метр	Масло М 10	$K \frac{\text{м}^3}{\text{с}^2}$		$\rho \text{ кг/м}^3$	h		$\sigma \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$\sigma_{\text{табл}} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

1 Определение коэффициента температурного расширения β_T .

1.1 Вычисляем приращение объема термометрической жидкости на длине ℓ

$$\Delta W = \pi r^2 \ell.$$

1.2 Определяем число градусных делений ΔT , которые соответствуют расстоянию ℓ .

1.3 Находим значение коэффициента теплового расширения по формуле

$$\beta_T = \frac{\Delta W}{W \Delta T}, [^\circ\text{C}^{-1}].$$

2 По показанию ареометра вычисляем плотность жидкости по формуле

$$\rho = \frac{4m \cdot 10^5}{\pi d^2 h}.$$

3 Коэффициент кинематической вязкости испытуемой жидкости в вискозиметре Стокса определим по формуле

$$\nu = \frac{gd^2 \cdot \tau \cdot \left(\frac{\rho_{\text{ш}}}{\rho_{\text{ж}}} - 1 \right)}{18\ell + 43,2 \cdot \ell \left(\frac{d}{D} \right)}.$$

4 Вязкость жидкости в капиллярном вискозиметре определим по формуле

$$\nu = M \cdot \tau .$$

5 Коэффициент поверхностного натяжения находим по формуле

$$\sigma = K \cdot \rho / n .$$

6 Результаты вычислений заносим в протокол испытаний.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Результаты проведенных исследований оформляются в виде отчета по работе, включающего:

- 1) название лабораторной работы;
- 2) указание цели исследований;
- 3) схему лабораторного устройства с указанием основных элементов;
- 4) протокол исследований;
- 5) расчетные формулы обработки опытных данных с числовым примером;
- 6) выводы с указанием совпадения или расхождения результатов с табличными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод: Учебное пособие для вузов / Под ред. С.П. Стесина. – М.: Академия, 2005.
- 2 Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 2006.
- 3 Холин К.М., Никитин О.Ф. Основы гидравлики и объемные приводы: Учебник. – М.: Машиностроение, 1989.
- 4 Методические указания к лабораторным работам на портативной лаборатории «Капелька» / Г.Д. Слободжакин, Д.Г. Слободжакин. – Томск: Изд-во Томского архитектурно–строительного ун-та, 2005.

Виктор Андреевич Савельев

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТИ

**Методические указания
к выполнению лабораторной работы по курсу
гидравлики, гидромашин и гидропневмопривода
для студентов специальностей
190601, 190603, 190201, 190202, 260601, 151001,
151002, 220301, 280101, 140211, 150201, 050502**

Редактор Н.Л. Попова

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 0,75	Уч.-изд. л. 0,75
Заказ	Тираж 100	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.