

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 2

«ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ»

Министерство образования Республики Беларусь
Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 2

«ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ»

Разработал: канд. техн. наук,
доцент Мрочек В.И.

Рецензент: доцент Парахневич В.Т.

Методические указания
утверждены на заседании
кафедры БЖД
« 15 » 05 2007 г.
Протокол № 9

Могилев 2007

2.1 Цель работы:

- 1) Изучить основные физические свойства жидкостей и газов;
- 2) Экспериментально определить вязкость минерального масла и воды.

2.2 Краткие теоретические сведения

2.2.1 Основные физические свойства жидкостей.

1 Плотность и удельный вес.

Плотностью ρ (кг/м³) называется масса m жидкости, содержащаяся в единице объема V . Для однородных жидкостей

$$\rho = m / V. \quad (1)$$

Плотность зависит от рода жидкости, температуры и давления. Например, для воды при температуре 4 °С и атмосферном давлении ($p_a = 0,1013$ МПа) $\rho = 1000$ кг/м³. Масло для гидравлических систем АМГ-30 при температуре 50 °С имеет плотность 850 кг/м³.

При увеличении температуры плотность жидкостей, как правило, уменьшается. Исключение составляет только вода в интервале температур от 0 до 4 °С.

Удельным весом γ (Н/м³) называют вес G единицы объема жидкости. Для однородных жидкостей

$$\gamma = G / V. \quad (2)$$

Удельный вес и плотность связаны между собой зависимостью $\gamma = \rho \cdot g$, где $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

2 Сжимаемость – свойство жидкости изменять свой объем под действием давления.

Сжимаемость характеризуют коэффициентом объемного сжатия β_p (Па⁻¹), который выражает относительное изменение объема, приходящееся на единицу изменения давления.

$$\beta_p = -\Delta V / (V \cdot \Delta p), \quad (3)$$

где V_0 – первоначальный объем;

ΔV – приращение объема, обусловленное приращением давления на величину Δp .

Учитывая, что $\Delta V = V_1 - V_0$, получим:

$$V_1 = V_0 (1 - \beta_p \cdot \Delta p), \quad (4)$$

где V_1 – объем, занимаемый жидкостью после изменения давления на величину Δp .

Величину, обратную коэффициенту объемного сжатия, называют **объемным модулем упругости жидкости** $E_{жс}$ (Па): $E_{жс} = 1/\beta_p$.

Через модуль $E_{жс}$ формулу (3) можно записать в виде зависимости

$$\Delta V / V_0 = - \Delta p / E_{жс}, \quad (5)$$

которую называют **обобщенным законом Гука**.

Различают адиабатный и изотермический модули упругости. Первый больше второго приблизительно в 1,5 раза и проявляется при быстротечных процессах сжатия, происходящих без теплообмена с окружающей средой. При изотермическом процессе неизменна температура. Для воды изотермический модуль упругости при атмосферном давлении составляет приблизительно 2000 МПа. Как следует из уравнения (5), при повышении давления на 0,1 МПа объем воды уменьшается всего лишь на 1/20 000 часть. Такого же порядка модуль упругости и для других жидкостей, например, для минеральных масел он приблизительно равен 1200 МПа.

3 Температурное расширение характеризуется коэффициентом объемного расширения β_T , который представляет собой относительное изменение объема при изменении температуры T на 1 °С и постоянном давлении:

$$\beta_T = \Delta V / (V_0 \cdot \Delta T), \quad (6)$$

где ΔV – приращение объема, обусловленное изменением температуры на величину ΔT .

Учитывая, что $\Delta V = V_1 - V_0$, получим

$$V_1 = V_0 (1 + \beta_T \Delta T). \quad (7)$$

Для минеральных масел при давлениях до 15 МПа β_T можно в среднем принять равным $800 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Для воды в условиях атмосферного давления коэффициент возрастает с $14 \cdot 10^{-6}$ при $t = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ до $719 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ при $t = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$.

4 Вязкость – свойство жидкости оказывать сопротивление относительному движению (сдвигу) ее частиц. Сила взаимодействия, возникающая между слоями текущей жидкости, определяется по **закону жидкостного трения Ньютона-Петрова**:

$$F_{тр} = \pm \mu \cdot (dv / dn) \cdot A, \quad (8)$$

где μ – коэффициент пропорциональности, получивший название динамическая вязкость, Па·с;

dv/dn – градиент скорости;

A – площадь соприкасающихся слоев.

Если уравнение (8) разделить на A , получим:

$$\tau = \pm \mu (dv / dn). \quad (9)$$

Таким образом, динамическая вязкость при единичном градиенте скорости равна касательному напряжению τ .

Наряду с динамической часто используют кинематическую вязкость ν :

$$\nu = \mu / \rho. \quad (10)$$

В системе СИ кинематическую вязкость измеряют в $\text{м}^2/\text{с}$. Также на практике широко используются внесистемные единицы: стоксы (Ст) и сантистоксы (сСт). $1\text{Ст} = 1\text{ см}^2/\text{с}$; $1\text{сСт} = 1\text{ мм}^2/\text{с}$.

Вязкость зависит от рода жидкости и ее температуры. Так, например, кинематическая вязкость воды при температуре $4\text{ }^\circ\text{C}$ равна: $\nu = 0,0157 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с} = 0,0157 \text{ Ст} = 1,57 \text{ сСт}$.

5 Парообразование – свойство жидкостей изменять свое агрегатное состояние и превращаться в пар. Давление, при котором жидкость закипает при данной температуре, называется давлением насыщенных паров $p_{н.п.}$, его значение зависит от рода жидкости и ее температуры. Значения $p_{н.п.}$ для различных жидкостей приведены в работе [2].

6 Растворимость газов в жидкости характеризуется объемом газа, растворяемого в единице объема жидкости при повышении давления. Относительный объем газа, растворяемого в жидкости до ее полного насыщения, определяется в соответствии с законом Генри:

$$V_2 / V_{ж} = k (p_2 / p_1), \quad (11)$$

где V_2 – объем газа, растворяемого в жидкости объемом $V_{ж}$ при повышении давления от p_1 до p_2 ;

k – коэффициент растворимости, зависящий от рода жидкости и газа.

Коэффициент растворимости воздуха при $20\text{ }^\circ\text{C}$ имеет следующие значения: для воды $k = 0,016$, для минеральных масел $k = 0,08$.

7 Поверхностное натяжение и капиллярность. Поверхность жидкости подвержена воздействию сил поверхностного натяжения, стремящихся придать объему жидкости сферическую форму и вызывающих в ней дополнительное давление [2]. Наличием этого дополнительного давления объясняется явление капиллярности, проявляющееся в том, что в открытых трубках малого диаметра, погруженных одним концом в жидкость, последняя устанавливается выше уровня при вогнутом мениске или ниже его – при выпуклом мениске. Вогнутый мениск образуется в том случае, если жидкость смачивает поверхность трубки (например, вода – стекло), а выпуклый мениск – если поверхность трубки не смачивается жидкостью (например, ртуть – стекло).

2.2.2 Физические свойства газов

Газы в отличие от жидкостей характеризуются значительной сжимаемостью и высокими значениями температурного расширения [2].

Термодинамическое состояние газа в любой момент времени характеризуется тремя величинами: давлением p , абсолютной температурой T и удельным объемом ω (удельный объем – объем единицы массы газа, то есть $\omega = 1/\rho$). Связь между этими величинами устанавливается уравнением состояния:

$$p \cdot \omega = R \cdot T, \quad (12)$$

где R – газовая постоянная, определяемая как работа расширения 1 кг газа при нагревании его на 1 °С, Дж/(кг·°С); она различна для разных газов, но не зависит от температуры и давления.

Например, для воздуха $R=287$ Дж/(кг·°С), для азота $R=296,8$ Дж/(кг·°С).

Термодинамические процессы часто протекают таким образом, что одну из трех величин, характеризующих состояние системы, можно считать постоянной. В связи с этим различают процессы: изобарный ($p = \text{const}$), изохорный ($\omega = \text{const}$), изотермический ($T = \text{const}$). Процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой, называют адиабатным. Для адиабатного процесса

$$p \cdot \omega^k = \text{const} \text{ или } p/\rho^k = \text{const}, \quad (13)$$

где k – показатель адиабаты, $k = c_p / c_v$ (c_p , c_v – соответственно изобарная и изохорная теплоемкости).

Поскольку в реальных условиях происходит некоторый обмен тепла, изменение состояния газа определяется по политропе. Уравнение для политропного процесса имеет вид:

$$p \cdot \omega^n = \text{const} \text{ или } p/\rho^n = \text{const}, \quad (14)$$

где n – показатель политропы; при $n = 1$ имеет место изотермический процесс, при $n = k$ – адиабатный.

Показатель адиабаты при 0 °С и атмосферном давлении для воздуха $k = 1,41$. Плотность воздуха при этих условиях $\rho = 1,293$ кг/м³.

Вязкость газов в отличие от жидкостей увеличивается с повышением температуры. Для большинства газов вязкость практически не зависит от давления при его изменении от 0 до 0,5 МПа, при повышении же давления от 0 до 9 МПа вязкость увеличивается примерно в 5 раз. Воздух при 0 °С и атмосферном давлении имеет кинематическую вязкость $\nu = 13,2 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

2.3 Экспериментальное определение вязкости

На практике вязкость жидкости измеряют с помощью приборов, называемых **вискозиметрами**. Имеется несколько типов вискозиметров:

- капиллярные;
- ротационные, принцип работы которых основан на вращении двух коаксиальных цилиндров;
- вискозиметры Энглера, определение вязкости с помощью которых основывается на сопоставлении характеристик истечения исследуемой жидкости с характеристиками истечения дистиллированной воды;
- вискозиметры, измерение вязкости у которых основывается на исследовании процесса затухания колебаний маятника в жидкости; вискозиметры, в которых определение вязкости проводят на скорости падения твердого тела (шарика) и др.

В данной работе измерение вязкости осуществляется двумя вискозиметрами: Энглера и капиллярным.

Вискозиметр Энглера используют для измерения вязкости жидкостей более вязких, чем вода.

Капиллярным вискозиметром в данной работе определяется **вязкость воды.**

2.4 Экспериментальные установки

2.4.1 Вискозиметр Энглера. В работе для измерения вязкости минерального масла используется вискозиметр Энглера типа ВУ, схема которого приведена на рисунке 2.1. Он состоит из двух цилиндрических резервуаров 1 и 2, установленных соосно. В дне резервуара 1 выполнено короткое калиброванное отверстие 3 диаметром 2,8 мм, через которое вытекает исследуемая жидкость. Отверстие закрывается стержнем 4, который имеет снизу коническую поверхность. На внутренней поверхности резервуара 1 нанесена риска 5, являющаяся указателем уровня исследуемой жидкости и горизонтальности установки вискозиметра. При горизонтальной установке вискозиметра свободная поверхность исследуемой жидкости (при частичном заполнении резервуара 1) должна быть параллельна риску 5. Регулировка обеспечивается путем изменения длины ножек, на которых установлен вискозиметр. Пространство между резервуарами 1 и 2 заполнено термостатирующей жидкостью (в нашем случае водой), которая подогревается электронагревателем 6. Для регулирования температуры служит регулятор мощности 7. Мешалка 8 предназначена для размешивания термостатирующей жидкости с целью достижения равномерного прогрева исследуемой жидкости в резервуаре 1.

Резервуары 1 и 2 сверху закрыты крышками 9 и 10 с установленными в них термометрами 11 и 12. Термометр 11 используется для измерения температуры исследуемой жидкости, а термометр 12 – для контроля температуры термостатирующей жидкости.

Исследуемая жидкость из резервуара 1 вытекает в колбу 13.

2.4.2 Капиллярный вискозиметр. Капиллярный вискозиметр (рисунок 2.2) выполнен в виде U-образной стеклянной трубки 1, которая закреплена на штативе 2. В левое колено трубки впаян капилляр 3, выше которого имеются два расширения 4 и 5 и нанесены две риски – М1 и М2. В нижней части U-образной трубки имеются расширения 6 и 7. Вискозиметр соответствует ГОСТ 10028-87. Верхний конец левого колена с помощью трубки соединен с резиновой грушей.

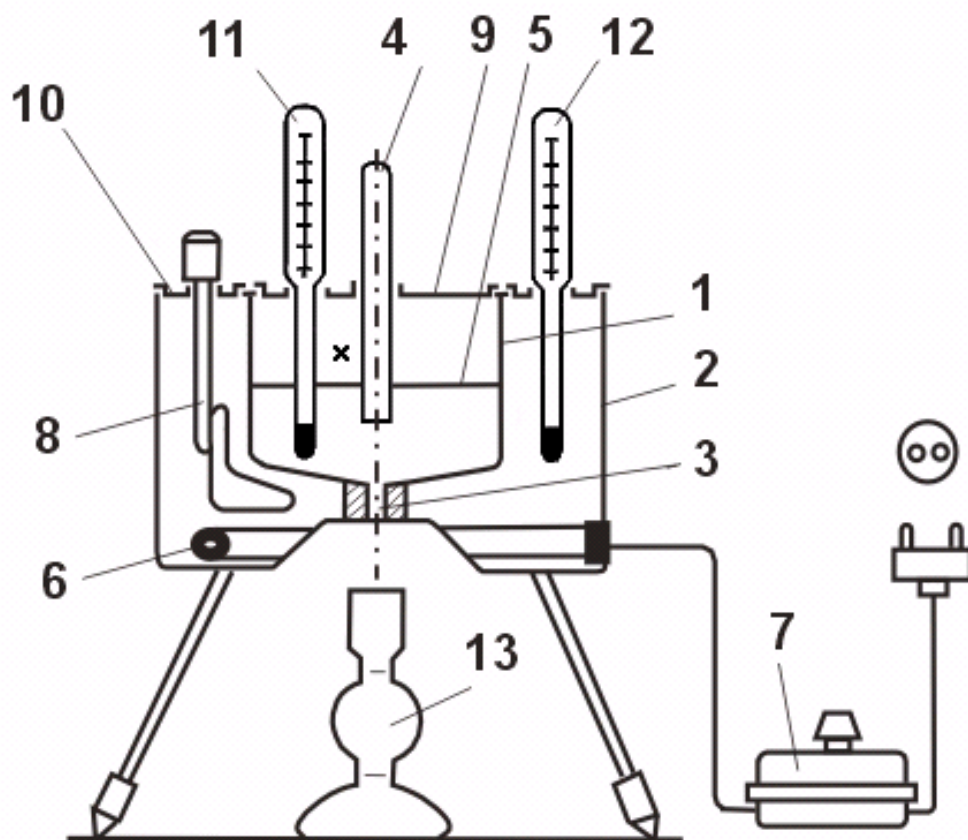


Рисунок 2.1 – Схема вискозиметра Энглера

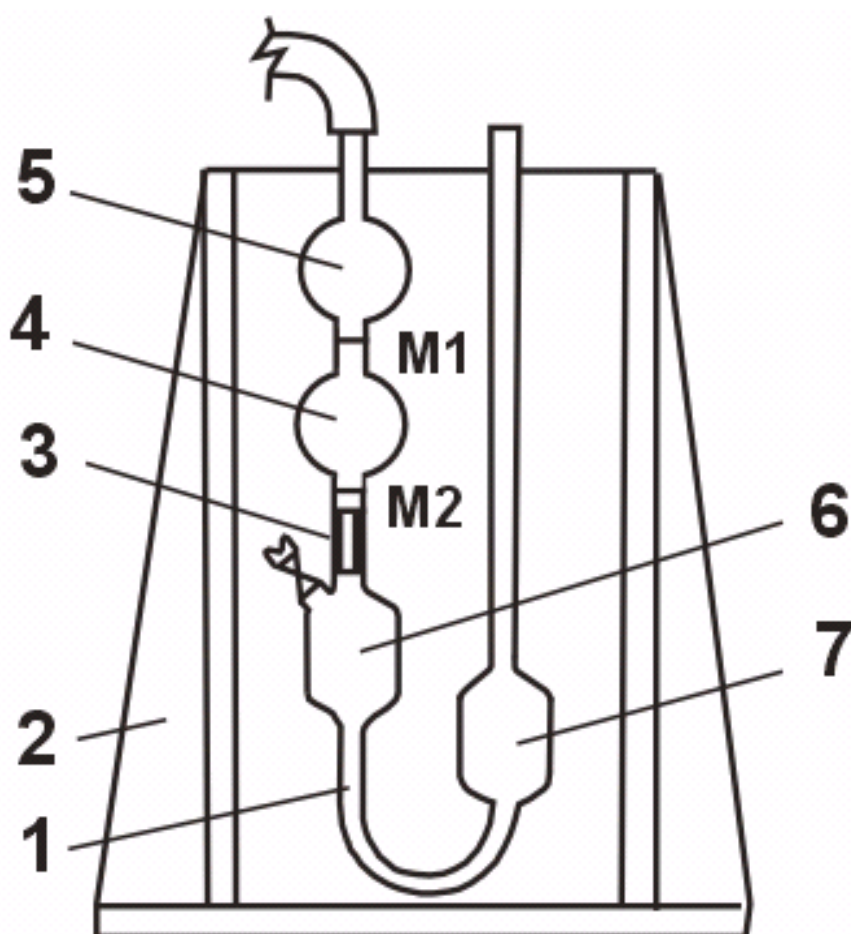


Рисунок 2.2 – Схема капиллярного вискозиметра

2.5 Проведение испытаний

2.5.1 Определение вязкости минерального масла с помощью вискозиметра Энглера (рисунок 2.1).

Перед началом работы следует убедиться в наличии воды между резервуарами 1 и 2, а также при необходимости очистить резервуар 1.

Затем необходимо вынуть термометр 11, снять крышку 9, закрыть стержнем 4 калиброванное отверстие 3 и залить в резервуар 1 до риски 5 исследуемую жидкость. При этом следует обратить внимание на правильность установки вискозиметра, отрегулировав при необходимости горизонтальность его установки. Закрыть крышкой 9 резервуар 1 и вставить термометр 11. Снизу под калиброванное отверстие подставить чистую колбу 13, вынуть стержень 4, включить секундомер и замерить время t истечения 200 см^3 исследуемой жидкости. Колбу 13 необходимо установить таким образом, чтобы жидкость стекала по ее стенкам, не образуя при этом пены. При проведении опыта следует по термометру 11 зафиксировать температуру исследуемой жидкости T .

Далее необходимо жидкость из колбы залить в резервуар 1, включить электронагреватель, повысить температуру исследуемой жидкости на $5...10 \text{ }^\circ\text{C}$ и повторить опыт. Всего необходимо выполнить 5 опытов.

Температура исследуемой жидкости в последнем опыте с целью обеспечения безопасности работ не должна превышать $60...70 \text{ }^\circ\text{C}$.

Результаты опытов занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты исследований по определению вязкости масла

№ опыта	Температура жидкости $T, \text{ }^\circ\text{C}$	Время истечения 200 см^3 $t, \text{ с}$	Условная вязкость $^\circ\text{ВУ}$	Кинематическая вязкость $\nu, \text{ м}^2/\text{с}$	Динамическая вязкость $\mu, \text{ Па}\cdot\text{с}$
1					
...					
5					

2.5.2 Определение вязкости воды капиллярным вискозиметром (рисунок 2.2).

Необходимо взять примерно $150...200 \text{ см}^3$ воды и, предварительно измерив ее температуру T , залить ее в вискозиметр таким образом, чтобы расширение 6 (рисунок 2) было заполнено примерно до половины.

Из нижней емкости через капилляр 3 исследуемая жидкость засасывается с помощью груши на $1/3$ высоты расширения 5. После сообщения расширений 5 и 6 с атмосферой измеряется время t опускания жидкости от риски М1 до риски М2. Для получения более достоверных результатов опыт повторить 4...5 раз. Результаты занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты исследований по определению вязкости воды

№ опы-та	Температура воды $T, ^\circ\text{C}$	Время истечения $t, \text{с}$	Кинематическая вязкость $\nu, \text{м}^2/\text{с}$	Динамическая вязкость $\mu, \text{Па}\cdot\text{с}$
1				
...				
5				

2.6 Обработка результатов

2.6.1 Определение вязкости минерального масла с помощью вискозиметра Энглера.

Используя результаты опытов (таблица 2.1), определяют условную вязкость:

$$^\circ\text{ВУ} = \frac{t}{t_{\text{в}}}, \quad (15)$$

где t – время истечения из вискозиметра 200 см^3 исследуемой жидкости при данной температуре;

$t_{\text{в}}$ – время истечения из вискозиметра 200 см^3 дистиллированной воды при 20°C (для используемого в лабораторной работе вискозиметра $t_{\text{в}}=51 \text{ с}$. Это время еще называют постоянной вискозиметра или водным числом).

Зная условную вязкость, кинематическую вязкость можно определить, например, по эмпирической формуле Уббелоде:

$$\nu = 0,0731 \cdot ^\circ\text{ВУ} - 0,0631 / ^\circ\text{ВУ}, \text{ см}^2/\text{с}. \quad (16)$$

Динамическая вязкость μ равна:

$$\mu = \nu \cdot \rho. \quad (17)$$

Исследуемой жидкостью в данной работе является минеральное масло МГЕ-46В ($\rho = 870 \text{ кг/м}^3$).

Результаты вычислений заносятся в таблицу 2.1. Полученные значения коэффициентов вязкости сопоставляются со справочными.

По результатам исследований необходимо построить график $\nu = f(T)$.

2.6.2 Определение вязкости воды. Используя результаты опытов (таблица 2.2), определяют кинематическую вязкость жидкости в $\text{мм}^2/\text{с}$ по следующей зависимости:

$$\nu = g \cdot t \cdot k / 9,807, \quad (18)$$

где g – ускорение свободного падения в месте проведения опытов (принять $g=9,81 \text{ м/с}^2$);

t – время истечения, с;

k – постоянная капиллярного вискозиметра, $k = 0,01025 \text{ мм}^2/\text{с}^2$.

Динамическую вязкость воды определяют по формуле (17) ($\rho \approx 998,2 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды при температуре 20°C и атмосферном давлении).

Кинематическую вязкость воды, определенную экспериментально, необходимо сравнить со значением вязкости, вычисленным, например, по эмпирической формуле Пуазейля:

$$\nu = 0,0178 / (1 + 0,0337 \cdot T + 0,000221 \cdot T^2), \text{ см}^2/\text{с} \quad (19)$$

где T – температура воды в $^\circ\text{C}$.

Контрольные вопросы

- 1 Физические свойства жидкостей и газов.
- 2 Закон жидкостного трения Ньютона-Петрова.
- 3 Методика определения вязкости жидкостей с помощью вискозиметра Энглера, понятие условной вязкости.
- 4 Методика определения вязкости с помощью капиллярного вискозиметра.

Рекомендуемая литература

- 1 Медведев В.Ф. Гидравлика и гидравлические машины: Учеб. пособие. – Мн.: Выш. шк., 1998. – 311 с.
- 2 Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам/ Под общ. ред. Б.Б. Некрасова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Выш. шк., 1985. – 382 с.