

Измерение динамической вязкости непрозрачной жидкости методом Стокса

Пашнин Сергей Владимирович, старший преподаватель
 Суходоев Евгений Эдуардович, студент
 Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

В работе предложен прототип стенда для измерения динамической вязкости непрозрачной жидкости методом Стокса с использованием микроконтроллера и датчиков Холла. Предлагаемый стенд может быть использован для измерения динамической вязкости непрозрачной магнитной жидкости. При проведении эксперимента было проведено сравнение измерений на прототипе проектируемого стенда и образцовом вискозиметре. После калибровки прототипа стенда достигнута незначительная погрешность измерения динамической вязкости исследуемой жидкости.

Ключевые слова: динамическая вязкость, вискозиметр, магнитная жидкость, датчик Холла, лабораторный стенд.

Магнитные жидкости уникальны тем, что с изменением напряженности магнитного поля, изменяется вязкость магнитной жидкости и это является ключевым фактором, который определяет область применения жидкости. В связи с этим имеется необходимость измерения динамической вязкости магнитной жидкости. Кроме того, важна демонстрация изменяющихся свойств магнитной жидкости в образовательном процессе студентам-приборостроителям. В статье [1] описываются основные методы измерения вязкости магнитной жидкости:

- капиллярный;
- падающего шарика (метод Стокса);
- ротационный.

В последней указанной статье говорится, что метод Стокса неприменим при исследовании непрозрачных жидкостей из-за невозможности визуальной регистрации времени прохождения шариком столба жидкости.

Но проблема непрозрачности магнитной жидкости может быть решена при замене визуального контроля времени прохождения шариком столба жидкости на автоматизированный контроль. Время прохождения шариком контролируемого расстояния в магнитной жидкости фиксируется за счет использования датчиков Холла, реагирующих на магнитный элемент, жестко связанный с шариком. В разрабатываемом лабораторном стенде предлагается измерение вязкости в зависимости от величины напряженности магнитного поля. Принципиальная схема стенда представлена на (рис.1).

Принцип действия: магнитная жидкость 7 находится в сосуде 5. Шарик 9 погружаясь в жидкость, попадает в зону воздействия магнитного поля катушки индуктивности 8, набирает скорость и при прохождении участка L_1 достигает установившейся величины. С помощью двух датчиков холла 1 фиксируется время прохождения шарика столба магнитной жидкости. Шарик соединён стержнем 6 с магнитом 4. Расстояние L_1 равно расстоянию L_2 . Изменение напряженности магнитного поля катушки индуктивности 8 вызывает изменение вязкости магнитной жидкости. Время прохождения расстояния L_1 фиксируется микроконтроллером 2 и отображается на мониторе ПК 3. Студенту предлагается

рассчитать величину динамической вязкости по результатам эксперимента.

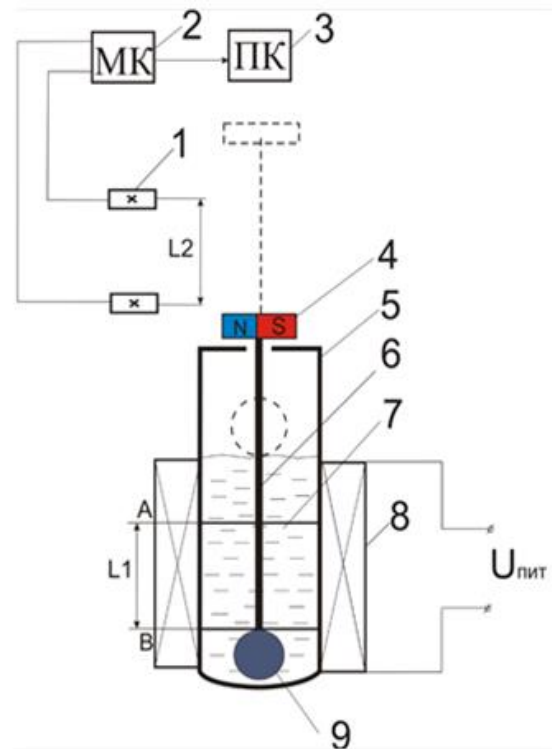


Рис.1. Принципиальная схема стенда: Под цифрой 1 – Датчики Холла, 2 – микроконтроллер, 3 – персональный компьютер, 4 – магнит, 5 – сосуд, 6 – стержень, 7 – магнитная жидкость, 8 – катушка индуктивности; 9 – пластмассовый шарик.

При проведении эксперимента должны выполняться требования:

- 1) Температура воздуха в помещении в процессе эксперимента неизменна.
- 2) Поверхность, на которой расположена экспериментальная установка, горизонтальна.

На (рис.2) представлен прототип лабораторного стенда.

С целью тестирования работоспособности прототипа стенда была измерена динамическая вязкость таких доступных вязких жидкостей как, раствор глицерина и касторовое масло.

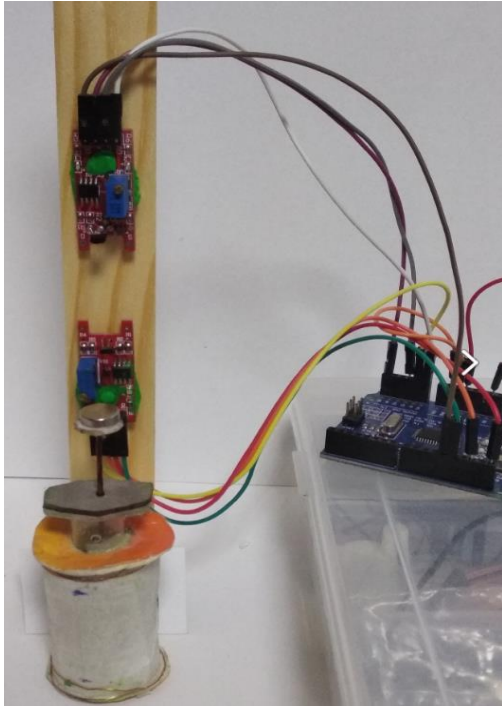


Рис.2. Прототип лабораторного стенда

Для определения значений кинематической и динамической вязкости указанных жидкостей были проведены измерения на эталонном вискозиметре капиллярного типа ВПЖ-2. На (рис.3) показана схема данного вискозиметра.

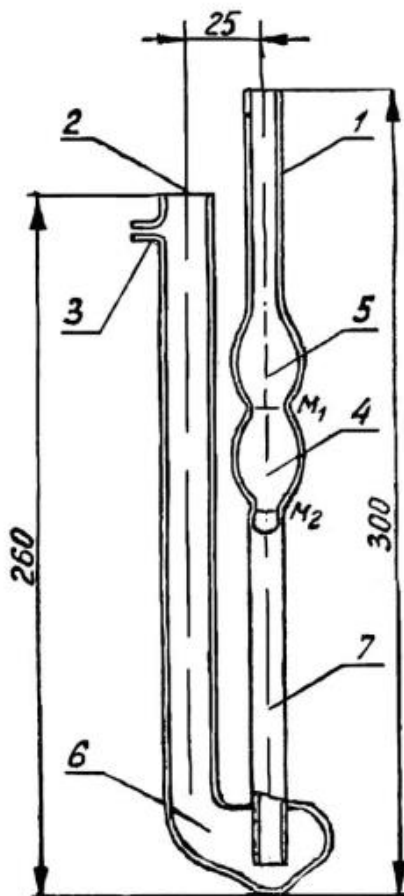


Рис.3. Вискозиметр ВПЖ-2

Данный вискозиметр представляет собой U-образную трубку. Измерение вязкости основано на

определении времени истечения через калиброванное отверстие в трубке 1 между метками M1 и M2. Согласно ГОСТу [4] кинематическая вязкость ν рассчитывается по формуле

$$\nu = C \cdot t$$

где ν – кинематическая вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$;

C – постоянная вискозиметра, $\text{мм}^2/\text{с}^2$;

t – среднее арифметическое значение времени истечения, с.

Измерения проводились при температуре 20°C .

Для исследуемых жидкостей кинематическая вязкость составила $209,65 \text{ мм}^2/\text{с}$ и $760,68 \text{ мм}^2/\text{с}$, для глицерина и касторового масла соответственно.

Вычисление динамической вязкости проведено по формуле [2]:

$$\eta = \nu \cdot \rho \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

где ρ – плотность при той же температуре, при которой определялась кинематическая вязкость, $\text{кг}/\text{м}^3$;

η – динамическая вязкость, $\text{мПа}\cdot\text{с}$.

С помощью ареометра получили значение плотности исследуемого глицерина $1235 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и касторового масла $1014 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Таким образом, динамическая вязкость исследуемого глицерина составила

$$\eta = 258,9 \text{ мПа}\cdot\text{с}$$

Для касторового масла:

$$\eta = 772 \text{ мПа}\cdot\text{с}$$

Далее согласно методическим указаниям [3] проведено определение постоянной вискозиметра K по формуле

$$\eta = K \cdot (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}}) \cdot t \quad (2)$$

где K – значения постоянной, $\text{мм}^2/\text{с}^2$;

$\rho_{\text{ш}}, \rho_{\text{ж}}$ – плотности шарика и жидкости, $\frac{\text{гр}}{\text{см}^3}$;

η – динамическая вязкость жидкости, $\text{мПа}\cdot\text{с}$;

t – время движения шара в жидкости фиксированного расстояния.

В проектируемом стенде необходимо учесть помимо массы шарика, еще и плотность стержня и магнита, необходимого для работы датчика Холла, поэтому введена формула приведенной плотности шарика в виде:

$$\rho_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{ш}} + m_{\text{с}} + m_{\text{м}}}{V_{\text{ш}}} \quad (3)$$

где $m_{\text{ш}}$ – масса шарика, гр;

$m_{\text{с}}$ – масса стержня, гр;

$m_{\text{м}}$ – масса магнита, гр;

$V_{\text{ш}}$ – объем шарика, см^3 .

Результаты экспериментального измерения времени представлены в (табл. 1).

Таким образом, постоянная вискозиметра для прототипа стенда составила

$$K = 120,6993 \frac{\text{мм}^2}{\text{с}^2}$$

Зная постоянную вискозиметра, можно определить динамическую вязкость другой жидкости – касторового масла, и сравнить полученное значение со значением на эталонном вискозиметре.

Результаты измерения времени прохождения шарика в жидкости касторового масла представлены в (табл. 2).

Таблица 1. Результаты измерения времени прохождения шариком столба жидкости для определения поправочного коэффициента – постоянной вискозиметра

Номер измерения	Время прохождения пути, с
1	0,326
2	0,328
3	0,325
4	0,324
5	0,324
6	0,325
7	0,325
8	0,333
9	0,324
10	0,324
В среднем	0,325

Динамическая вязкость касторового масла составила

$$\eta = 797,86 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

Абсолютная погрешность измерения динамической вязкости касторового масла [4]:

$$\Delta_x = X_{\text{из}} - X_{\text{ист}} = 25,86 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

Литература:

1. Чернышева Е.В. Методы измерения вязкости магнитной жидкости: статья в сб. тр. Конференции. Курск: Изд-во Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2016. — С. 75–78.
2. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. М.: Изд-во Стандартинформ, 2017, — 34 с.
3. Вискозиметры Гепплера с падающим шаром. Методы и средства поверки: РД 50-366-82. — Введ. 1984-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1983. — 10с.
4. Баранов И.В., Курепин В.В. Обработка экспериментальных данных: методические указания. СПб.: СПбГУГиПТ, 2003. — 57 с.

Относительная погрешность измерения:

$$\varepsilon_x = 3,3 \%$$

Таблица 2. Результаты измерения времени прохождения шариком столба исследуемой жидкости

Номер измерения	Время прохождения пути, с
1	0,976
2	0,943
3	0,942
4	0,986
5	0,988
6	0,944
7	0,977
8	0,997
9	0,996
10	0,942
В среднем	0,969

Вывод: полученная погрешность измерения динамической вязкости касторового масла является приемлемой для учебных целей, что свидетельствует о работоспособности предлагаемой модели измерения и прототипа стенда, а значит, при соответствующей доработке предлагаемый стенд может быть использован для измерения динамической вязкости магнитной жидкости.