

УДК 628.16

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

Егор Тимурович Нуралиев

студент

kuzovspektr@gmail.com

Михаил Сергеевич Колдин

кандидат технических наук, доцент

koldinms@yandex.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В данной теме рассматривается фундаментальное физическое явление – вязкость жидкости, представляющее собой свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. Освещается механизм внутреннего трения в жидкостях, основанный на переносе импульса между слоями посредством хаотически движущихся молекул.

Ключевые слова: вязкость, жидкость, кинематическая вязкость, неньютоновская жидкость, коэффициент вязкости.

Вязкость (внутреннее трение) является одной из характеристик и важным свойством жидкостей и газов, это способность сопротивляться перемещению одной их части (слоёв) относительно другой. Результатом процесса движения жидкостей, является перенос энергии в жидком пространстве с возникновением сил трения. Вязкость для различных жидких веществ различна и влияет на многие последующие характеристики потока и взаимодействия с твердыми телами (рисунок 1).



Рисунок 1 - Вязкость различных веществ.

Внутреннее трение в жидкости и газе имеет сложный механизм действия, описать который можно как движение молекул, переносящих импульс из одного слоя вещества в другой. В процессе движения происходит выравнивание скорости рассматриваемых слоев жидкого вещества [1,6].

Твёрдые тела, в зависимости от внешних условий и структуры тоже могут обладать вязкостью. Однако внутреннее трение в них обычно рассматривается отдельно на основе законов теории упругости и пластичности.

При движении жидкости происходит торможение потока, скорость уменьшается по мере уменьшения расстояния у от твердой стенки (рисунок 2).

При этом при $y = 0$, скорость падает до нуля, а между слоями происходит проскальзывание, сопровождающееся возникновением касательных напряжений τ [2].

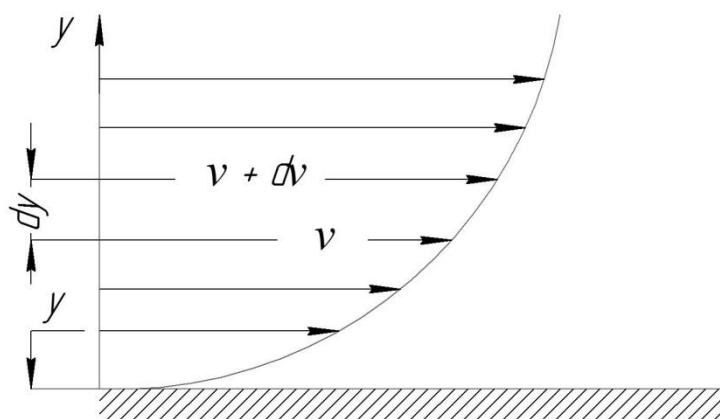


Рисунок 2 - Профиль скоростей при течении вязкой жидкости вдоль стенки.

Динамическая вязкость - является величиной сопротивления текучести жидкости при перемещении её слоя площадью 1 см^2 на расстояние в 1 см со скоростью 1 см/сек .

В Международной системе единиц (СИ) данный показатель измеряется в Па•с. В системе СГС единицей измерения вязкости является Пуаз.

Величина обратная динамическому коэффициенту вязкости ($1/\mu$) является *текучесть жидкости*.

Отношение динамического коэффициента вязкости к плотности жидкости называется кинематическим коэффициентом вязкости:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} (\text{м}^2/\text{с})$$

Величина ν (произносится "ню") равная $1 \text{ см}^2/\text{с}$ называется стоксом (Ст), а $0,01 \text{ Ст}$ - 1 сантистоксом (сСт).

Повышение вязкости жидкости приводит к увеличению времени, которое уходит на её истечение. Жидкость с большей вязкостью, например смола, мёд, нефть, клей и т.д. будет вытекать через отверстие аналогичное тому, через которое вытекало бы менее вязкое вещество, через больший отрезок времени.

Существует несколько методов измерения вязкости жидкостей. Наиболее распространенными являются:

Капиллярный метод – это метод, основанный на законе Пуазейля. Он заключается в измерении времени, за которое жидкость протекает через капилляр под действием разности давлений.

Метод падающего шарика – это метод, основанный на законе Стокса. Он заключается в измерении скорости падения шарика в жидкости.

Метод вискозиметра – это метод, основанный на измерении сопротивления жидкости течению. Он заключается в измерении времени, за которое жидкость протекает через вискозиметр под действием разности давлений.

Определение кинематической вязкости производится измерением времени вытекания под воздействием силы тяжести определённого объёма жидкости через калиброванное отверстие. Процесс определения вязкости называется вискозиметрией, а приборы, которыми она определяется вискозиметрами. Помимо оценки вязкости с помощью динамического и кинематического коэффициентов пользуются условной вязкостью - градусы Энглера (Е). Вязкостью, выраженной в градусах Энглера, называется отношение времени истечения 200 см³ испытуемой жидкости через капилляр $d = 2,8$ мм к времени истечения такого же объёма воды при $t = 20$ С

$$1^{\circ}E = \frac{t}{t_{\text{воды}}}, \text{ где } t_{\text{воды}} = 51,6 \text{ сек.}$$

Такой прибор называется вискозиметром Энглера. Для пересчета градусов Энглера в стоксы для минеральных масел применяется формула

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

Таким образом, для оценки вязкости жидкости можно использовать три величины, которые связаны между собой (рисунок 3) [6].



Рисунок 3 - Способы оценки вязкости жидкости.

На вязкость жидкости влияют температура и давление. При понижении температуры вязкость жидкости повышается и наоборот. У газов наблюдается обратное явление: с повышением температуры вязкость увеличивается, с понижением температуры – уменьшается [6].

При рассмотрении свойств вязкости рассматривают в основном так называемые ньютоновские жидкости.

Ньютоновская жидкость - это субстанция, у которой вязкость не зависит от скорости деформации или силы сдвига. Это значит, что если приложить одинаковое усилие к жидкости дважды с разными скоростями, то сопротивление будет одинаковым.

Ньютоновская жидкость обладает рядом свойств.

Инерция. Ньютоновская жидкость сохраняет свою скорость и направление движения до тех пор, пока не возникнет внешняя сила, изменяющая её состояние.

Отсутствие деформационного напряжения. В отличие от ньютоновской жидкости, она не выделяет деформационное напряжение, когда на неё действует внешняя сила.

Примеры ньютоновской жидкости: вода, масло, нефтепродукты, ацетон, глицерин.

Ньютоновская жидкость используется во многих областях, включая медицину, промышленность, науку и технику. Благодаря своим свойствам, она широко применяется в производстве смазочных материалов, веществ для охлаждения, промывки и смазки различных механизмов.

Неньютоновская жидкость - это жидкость, у которой скорость течения пропорциональна касательному напряжению, где вязкость является коэффициентом пропорциональности.

Как правило, такая жидкость состоит из крупных молекул - с помощью них образуются сложные пространственные структуры. Отличием от ньютоновской, неньютоновская жидкость имеет внутреннее трение, если

находится в состоянии покоя. Степень вязкости меняется в зависимости от скорости сдвига слоёв жидкости, пройденного времени и приложенных усилий.

Рассмотрим свойства вязкости жидкости. Закон Ньютона – это основной закон, описывающий течение жидкостей. Он утверждает, что сила, действующая на единицу площади поверхности, перпендикулярной направлению течения, пропорциональна градиенту скорости течения. Математически это можно записать в виде:

$$F = \eta \cdot S \cdot dV / dx,$$

где F – сила, η – динамическая вязкость, S – площадь поверхности, перпендикулярной направлению течения, dV / dx – градиент скорости течения.

Закон Пуазейля - закон, который описывает ток жидкости через капилляры. Согласно этому закону, объем жидкости, протекающий через капилляр за единицу времени, пропорционален четвертой степени радиуса капилляра и обратно пропорционален длине капилляра. Формула, подтверждающая вышеописанный закон:

$$Q = \pi \cdot r^2 \cdot \Delta P / 8 \cdot \eta \cdot L,$$

где Q – объем жидкости, протекающий через капилляр за единицу времени, r – радиус капилляра, ΔP – разность давлений на концах капилляра, η – динамическая вязкость, L – длина капилляра

Как видно из вышеизложенного вязкость жидкости влияет на процессы ее движения и взаимодействия с твердыми телами, например, в механических системах [3-5].

В насосном оборудовании более вязкая жидкость может снижать производительность насоса: уменьшать мощность, напор и объём перекачиваемой жидкости, вызывать проблемы с торцевым уплотнением и подшипниками.

В гидравлических системах слишком высокая вязкость жидкости приводит к снижению производительности системы из-за больших энергетических потерь при передаче жидкости через трубопроводы и каналы. Для преодоления этого сопротивления требуется больше энергии, что

увеличивает нагрузку на гидравлический насос и снижает его эффективность. Если вязкость слишком низкая, то возникают проблемы с недостаточной смазкой и охлаждением движущихся частей системы, что может привести к износу и поломке компонентов.

Выбор оптимальной вязкости жидкости зависит от конкретных условий эксплуатации механизма и требований к его работе.

Модель идеальной (невязкой) жидкости - это модель жидкости, в которой вязкие касательные напряжения не учитываются. В такой жидкости отсутствуют силы внутреннего трения, а значит, в потоке нет касательных напряжений.

Основная характеристика идеальной жидкости - абсолютная подвижность (отсутствие сил взаимодействия между молекулами) и абсолютная неизменяемость в объёме при изменении температуры или под действием каких-либо сил.

При решении некоторых задач применение законов движения невязкой жидкости для расчёта реальных явлений даёт результаты, достаточно точно описывающие реальное явление (например, при обтекании тел вытянутой плавной формы - крыла, лопасти рабочего колеса турбины).

Таким образом, в данной статье мы рассмотрели основные понятия в исследовании свойств вязкости жидкостей как важного параметра, который влияет на многие процессы и явления в природе и технике. Применяя их появляется возможность наиболее правильного подхода к проектированию гидравлических и механических систем.

Список литературы:

1. Сыромаха С. М., Аношкина Л. В., Аверина Г. А. Влияние времени наработки гидравлической жидкости на ее вязкость // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 3(3). С. 27-28.
2. Колдин М.С., Алехин А.В., А.А. Земляной, А.В. Аксеновский. Гидравлика. Мичуринск. Изд-во «Инфра-Инженерия». 2025. С. 45-48.

3. Karimov I., Halilov I. Hydrodynamics of Absorption Bubbling Apparatus // Bulletin of Science and Practice. 2021. Vol. 7. No. 11. P. 210-219. DOI 10.33619/2414-2948/72/26
4. Соловьева Е. А., Клоков А. В. Гидродинамика теплообменной аппаратуры // Молодежь в науке: Новые аргументы: Сборник научных работ II-го Международного молодежного конкурса / Отв. ред. А.В. Горбенко. Том Часть I: Научное партнерство "Аргумент". 2015. С. 92-94.
5. Гидродинамика: Практикум / Н. Г. Кожевникова, А. В. Ещин, Н. А. Шевкун и др. // Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева. 2019. 154 с.
6. Кравникова А. П. Гидравлическое и пневматическое оборудование путевых и строительных машин: учебное пособие // Москва: ФГБОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2016. - 419 с.

UDC 628.16

INVESTIGATION OF THE VISCOSITY OF LIQUIDS

Egor T. Nuraliev

student

kuzovspektr@gmail.com

Mikhail S. Koldin

candidate of technical sciences, associate professor

koldinms@yandex.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. This topic discusses a fundamental physical phenomenon – the viscosity of a liquid, which is the property of fluid bodies to resist the movement of

one part relative to another. The mechanism of internal friction in liquids, based on the transfer of momentum between layers by means of chaotically moving molecules, is highlighted.

Keywords: viscosity, liquid, kinematic viscosity, non-Newtonian fluid, viscosity coefficient.

Статья поступила в редакцию 10.05.2025; одобрена после рецензирования 20.06.2025; принята к публикации 30.06.2025.

The article was submitted 10.05.2025; approved after reviewing 20.06.2025; accepted for publication 30.06.2025.