

МОУ «ТВЕРСКАЯ ГИМНАЗИЯ №8»

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ

Предмет: физика

ТЕМА: «ТРЕНИЕ В ЖИДКОСТЯХ»

Выполнила:

Ученица 11 «А» класса

Безух Арина Юрьевна

Научный руководитель:

Покатович

Оксана Александровна

Тверь

2025

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----------|
| Введение | 3 |
| 1 Теоретические основы трения в жидкостях | 5 |
| 1.1 Явление трения в жидкостях: природа и основные понятия | 5 |
| 1.2 Параметры, влияющие на трение в жидкостях | 6 |
| 1.3 Вязкость как ключевая характеристика жидкостей | 9 |
| 2 Методы исследования и экспериментальная часть..... | 11 |
| 2.1 Метод Стокса для измерения коэффициента вязкости..... | 11 |
| 2.2 Экспериментальная часть | 13 |
| 2.2.1 Цель работы..... | 13 |
| 2.2.2 Оборудование и материалы | 13 |
| 2.2.3 Параметры эксперимента..... | 13 |
| 2.3 Результаты измерений и расчётов | 13 |
| 2.3.1 Таблицы экспериментальных данных | 14 |
| 2.3.2 Примеры подробных расчетов | 15 |
| 3 Экспериментальные данные | 17 |
| 3.1 Анализ полученных данных | 18 |
| 3.2 Сравнение с табличными значениями..... | 18 |
| 3.3 Выводы | 19 |
| 4 Анализ результатов исследования | 20 |
| 4.1 Трение в жидкостях — сложная для расчётов модель | 20 |
| 4.2 Практическое применение результатов исследования | 21 |
| 5 Заключение..... | 24 |
| 6 Список использованных источников | 25 |

ВВЕДЕНИЕ

Трение в жидкостях представляет собой одно из наиболее интересных и сложных явлений, которое имеет значительное влияние на множество процессов в природе и технике. Это явление, возникающее при взаимодействии движущихся объектов с жидкой средой, обусловлено множеством факторов, среди которых ключевую роль играет вязкость жидкости. Вязкость, как физическая характеристика, определяет внутреннее трение между слоями жидкости и, следовательно, влияет на сопротивление движущемуся объекту. Понимание механизмов трения в жидкостях и факторов, влияющих на него, является актуальной задачей как для научных исследований, так и для практического применения в различных отраслях, таких как машиностроение, химическая промышленность, биомеханика и многие другие.

Актуальность данной работы обусловлена недостатком информации о понятии трения в жидкостях в школьной программе, а также нехваткой доступных и точных методов для его измерения. В условиях современного научного прогресса, когда требуется оптимизация процессов и повышение эффективности различных систем, знание о трении в жидкостях становится особенно важным.

В первой главе моего проекта будут освещены основные понятия и определения трения в жидкостях, будет осуществлен анализ параметров, влияющих на трение, таких как температура, состав жидкости и скорость движения объекта. Важным аспектом работы станет определение вязкости различных жидкостей, что позволит проиллюстрировать, как различия в вязкости влияют на сопротивление движущемуся объекту. В рамках работы будет проведен анализ принципов работы метода Стокса. Кроме того, будет подготовлена практическая часть, в которой будут описаны экспериментальные исследования по трению в различных жидкостях.

В заключительной части работы будет проведен анализ полученных результатов исследования, что позволит сделать выводы о зависимости трения от вязкости и других факторов. Также будет рассмотрено практическое применение результатов исследования, что может быть полезно для дальнейших разработок в области науки и техники. Таким образом, данная работа направлена на углубленное понимание явления трения в жидкостях, что, в свою очередь, может способствовать оптимизации процессов в различных промышленных и научных приложениях.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРЕНИЯ В ЖИДКОСТЯХ

1.1 Явление трения в жидкостях: природа и основные понятия

При движении объектов в жидкостях возникает явление трения, часто называемое вязким трением. Оно обусловлено взаимодействиями между слоями жидкости и характером ее молекул. Взаимодействия внутри одной и той же жидкости приводят к тому, что движение одного слоя относительно другого вызывает сопротивление. На величину этого сопротивления влияют множество параметров, среди которых ключевую роль играют вязкость жидкости и скорость движения. Например, движущиеся объекты в менее вязких жидкостях, таких как вода, испытывают меньшее сопротивление, чем объекты, перемещающиеся в более вязких жидкостях, таких как мед или сироп.

Контекст реальной жизни иллюстрирует явление трения в жидкостях. Пловцы воспринимают сопротивление воды на каждом движении, что существенно влияет на эффективность их плавания. В реках течение воды, взаимодействуя с руслом, также испытывает это сопротивление. Более того, в системах трубопроводов, где вода или другие жидкости проходят через трубы, трение между жидкостью и стенками труб становится одной из самых серьезных проблем, влияющих на общую эффективность системы.

Различия между вязкими и сухими трениями заключаются также в том, что в случае сухого трения необходимо преодолеть силу трения покоя, прежде чем объект начнет двигаться. В случае вязкого трения сила покоя отсутствует, что облегчает запуск движения. Причины формирования вязкого трения объясняются как физическими взаимодействиями между молекулами жидкости, так и шероховатостью поверхностей, которые соприкасаются с жидкостью. Эти факторы создают условия, при которых возникает внутренняя энергия, противодействующая движению объектов.

Понимание природы трения в жидкостях имеет важное значение для разработки различных технологий и процессов. Важно знать, каким образом взаимодействуют жидкие вещества с твердыми поверхностями, так как это позволяет оптимизировать проектирование механических систем. Например, в автомобилестроении знание о вязкости масел помогает создавать более эффективные узлы трансмиссии, в которых трение между деталями должно быть минимизировано для обеспечения эффективной работы двигателя.

При изучении трения необходимо учитывать, что жидкость в процессе движения может меняться как физически, так и химически. Например, температура может влиять на вязкость жидкости. Повышение температуры, как правило, снижает вязкость, то есть уменьшает сопротивление движению, что в свою очередь может привести к улучшению общей производительности систем и механизмов, работающих с жидкостями. Эффективное определение вязкости и других параметров жидкости имеет критическое значение для многих приложений, связанных с работой машин и механизмов.

Таким образом, трение в жидкостях, с одной стороны, представляет собой сложный процесс, требующий внимательного изучения, а с другой — основан на фундаментальных физических принципах взаимодействия. Понимание механизмов, влияющих на величину трения, позволяет инженерам и ученым работать над созданием более эффективных систем, уменьшая энергозатраты и увеличивая прочность материалов.

1.2 Параметры, влияющие на трение в жидкостях

Трение в жидкостях зависит от множества параметров, от которых варьируется его природа и величина. Вязкость является одним из основных

факторов, влияющих на трение. Это мера внутреннего сопротивления жидкости. Высокие значения вязкости приводят к значительному увеличению сопротивления движению объектов. По сути, вязкость характеризует способность жидкости к деформации, что непосредственно связано с трением.

Скорость движения объекта также важна для понимания трения в жидкости. При увеличении скорости потока может происходить переход от ламинарного состояния к турбулентному, что заметно изменяет характеристики сопротивления. В условиях ламинарного потока, например, можно наблюдать сравнительно низкое значение трения, тогда как в турбулентном потоке трение возрастает из-за более сильного взаимодействия между молекулами жидкости и движущимся телом.

Плотность жидкости также вносит свой вклад в характеристики трения. Более плотные жидкости могут создать большее сопротивление по сравнению с менее плотными, что также связано с более высокой вероятностью столкновения молекул жидкости с объектом. Плотность влияет на взаимодействие между молекулами и может повлиять на величину трения, особенно в условиях высоких скоростей.

Форма и дизайн объектов, движущихся в жидкости, определяют, как молекулы жидкости располагаются вокруг них. Обтекаемые формы, как у рыб или кораблей, помогают уменьшить сопротивление и, следовательно, трение. Это особенно важно в судостроении, где стремятся уменьшить энергетические затраты, связанные с движением через воду.

Если объект имеет неправильную или неэффективную форму, это может привести к увеличению вязкого трения, в отличие от гладкой формы, создающей минимальное сопротивление.

Температура является важным параметром, влияющим на вязкость жидкости. С повышением температуры вязкость, как правило, снижается, что может привести к снижению трения. На молекулярном уровне это связано с тем, что при увеличении температуры молекулы начинают двигаться более активно, что снижает силы, действующие между ними. Важно учитывать, что изменение температуры может значительно повлиять на результаты различных экспериментов и практических приложений.

Не следует забывать и о молекулярной структуре жидкости, которая включает ее химические свойства и характеристики молекул. Молекулы с высокой массой или сложной структурой могут вести себя иначе, чем небольшие молекулы. Соотношение между массой молекул и их вязкостью определяет, каким образом и насколько велика будет сопротивляемость движению, а, следовательно, и трение.

Каждый из этих факторов является компонентом сложного взаимодействия, где условия окружающей среды или изменения состояния потока могут значительно изменять конечные эффекты трения. Для точного понимания этих взаимодействий применяются различные экспериментальные методы, которые помогают измерить показатели трения и вязкости. Использование этих данных в практических приложениях позволяет значительно оптимизировать процессы и технологии, основанные на движении жидкостей, включая гидравлические системы, трубопроводный транспорт и даже аэродинамику.

1.3 Вязкость как ключевая характеристика жидкостей

Вязкость жидкостей является важным параметром, определяющим их поведение при течении. Сравнение динамической вязкости различных жидкостей позволяет понять их свойства и области применения. Например, динамическая вязкость воды при температуре 20 °C составляет около 1,004 мПа·с, в то время как мед обладает намного большей вязкостью, что связано с его составом и структурой. Такая разница в вязкости влияет на текучесть этих жидкостей, что важно для процессов, где требуется перемещение или перекачивание.

Высокая вязкость меда делает его течением более замедленным. В отличие от воды, которая легко переносит растворенные вещества, мед создает значительное сопротивление движению. Это заметно не только в повседневной жизни, но и в промышленных процессах, таких как использование меда в пищевой и фармацевтической промышленности. Сравнительный анализ этих двух жидкостей показывает, что для успешного выполнения задач, таких как смазывание или транспортировка, необходимо учитывать их вязкость.

Исследования показывают, что чем выше вязкость жидкости, тем медленнее она течет. Это объясняется тем, что молекулы более вязкой жидкости взаимодействуют между собой интенсивнее, создавая большие силы трения при ее движении. Таким образом, для снижения вязкости может быть использован ряд добавок, которые могут изменять структуру жидкости и ее текучесть.

Современные научные исследования подтверждают, что при определенных условиях более вязкие жидкости могут течь быстрее, чем менее вязкие при обычных условиях. Этот феномен объясняется явлением, называемым разьединением капель. В таких условиях происходит массовое движение, которое может способствовать более быстрой течке вязкой

жидкости. Примеры таких явлений наблюдаются в системах с супергрей-дированными покрытиями, где давление внутри трубок меняется в зависимости от свойств жидкости.

Важно помнить, что вязкость зависит не только от температуры, но и от состава жидкости. Например, в случае молока, его вязкость будет значительно отличаться от воды или меда из-за наличия жирных и белковых компонентов в его составе. Это подчеркивает необходимость выбора правильных жидкостей для конкретных применений и условий.

Измерение вязкости различных жидкостей проводится с помощью таких методов, как капиллярные и ротационные вискозиметры. Эти приборы позволяют получить точные данные о вязкости и позволяют анализировать изменение этого параметра в зависимости от различных факторов, таких как температура и давление.

Следовательно, изучение вязкости различных жидкостей и их характеристик имеет важное значение для различных промышленных и медицинских применений. Понимание поведения этих жидкостей может помочь в разработке новых технологий и производственных процессов, которые требуют точного контроля свойств и характеристик.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Метод Стокса для измерения коэффициента вязкости

Метод Стокса, предложенный в 1851 году, представляет собой фундаментальный подход, позволяющий определить вязкость жидкостей через изучение падения небольших шариков в вязкой среде. При исследовании данного метода можно выделить несколько ключевых аспектов, касающихся работы и применения методики.

При падении шарика, находящегося в жидкости, действует несколько сил: сила тяжести, которую можно определить через массу шарика и ускорение свободного падения; сила Архимеда, направленная вверх, равная весу вытесненной жидкости; и сила трения, которая возникает между шариком и жидкостью и зависит от вязкости последней. Основное предположение заключается в том, что шарик должен быть достаточно мал, чтобы его движение не вызывало завихрений в жидкости, и чтобы было соблюдено условие низких чисел Рейнольдса.

Экспериментальная установка обычно включает столб с жидкостью, вазелин или глицерин, термостат для поддержания стабильной температуры и микроскоп для точного измерения времени падения шарика. Важным моментом является контроль температуры, так как вязкость жидкости зависит от этого параметра. Увеличение температуры приводит к снижению вязкости, что следует учитывать при проведении эксперимента для получения точных значений.

Для определения коэффициента вязкости жидкостей с помощью метода Стокса применяется формула, связывающая силы, действующие на шарик, и параметры его движения.

Вязкость рассчитывается по известной формуле (1):

$$\eta = \frac{2 \cdot r^2 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot g}{9 \cdot v} \quad (1)$$

где: η — коэффициент вязкости, r — радиус шарика, ρ_s и ρ_l — плотности шарика и жидкости, g — ускорение свободного падения, а v — скорость падения шарика.

Этот подход позволяет достаточно точно определять вязкость различных жидкостей при низких значениях числа Рейнольдса и проверять зависимости между этими двумя величинами.

Отмечается, что метод Стокса представляет собой не только простой, но и эффективный способ изучения вязкости, позволяющий получить важные данные о механизмах взаимодействия частиц в жидкости. Также с его помощью можно наблюдать за изменениями в вязкости при различных условиях, что имеет важное значение для научных и практических приложений в различных областях, включая биофизику и химическую технологию.

Необходимо учитывать, что при использовании метода Стокса требуется соблюдать осторожность при выборе шариков и условий эксперимента, чтобы избежать влияния внешних факторов, таких как колебания температуры или наличие загрязняющих частиц в жидкости, которые могут существенно исказить результаты. К тому же слишком высокие скорости или большие размеры шариков могут привести к ошибкам в измерениях, так как в этом случае начинают проявляться эффекты турбулентности, нарушая условия метода.

Освоение метода Стокса открывает новые горизонты для более детального изучения свойств жидкостей и оптимизации технологических процессов, основанных на механике.

2.2 Экспериментальная часть

2.2.1 Цель работы

Экспериментальное определение коэффициента динамической вязкости различных жидкостей методом Стокса и изучение зависимости вязкости от природы жидкости.

2.2.2 Оборудование и материалы

- Мерный цилиндр с исследуемыми жидкостями
- Свинцовые дробинки
- Штангенциркуль
- Секундомер
- Линейка
- Ареометр
- Резиновое кольцо-метка

2.2.3 Параметры эксперимента

- Диаметр шарика: $D = 3,00 \cdot 10^{-3}$ м
- Радиус шарика: $r = 1,50 \cdot 10^{-3}$ м
- Расстояние движения: $L = 0,1$ м
- Плотность материала шарика: $\rho = 11\,300$ кг/м³ (свинец)
- Ускорение свободного падения: $g = 9,8$ м/с²

2.3 Результаты измерений и расчётов

В таблицах 1 — 4 представлены экспериментальные результаты измерений времени, скорости, а также вычисленные соответствующие значения вязкости жидкости.

2.3.1 Таблицы экспериментальных данных

Таблица 1 — Вода ($\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$)

| № опыта | $t, \text{ с}$ | $v, \text{ м/с}$ | $\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$ |
|----------------|----------------|------------------|---------------------------------|
| 1 | 0.38 | 0.26316 | 0.00192 |
| 2 | 0.35 | 0.28571 | 0.00177 |
| 3 | 0.37 | 0.27027 | 0.00187 |
| 4 | 0.36 | 0.27778 | 0.00182 |
| 5 | 0.37 | 0.27027 | 0.00187 |
| Среднее | 0.366 | 0.27344 | 0.00185 |

Таблица 2 — Подсолнечное масло ($\rho_{ж} = 930 \text{ кг/м}^3$)

| № опыта | $t, \text{ с}$ | $v, \text{ м/с}$ | $\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$ |
|----------------|----------------|------------------|---------------------------------|
| 1 | 1.45 | 0.06897 | 0.736 |
| 2 | 1.52 | 0.06579 | 0.772 |
| 3 | 1.48 | 0.06757 | 0.752 |
| 4 | 1.50 | 0.06667 | 0.762 |
| 5 | 1.47 | 0.06803 | 0.747 |
| Среднее | 1.48 | 0.06741 | 0.754 |

Таблица 3 — Глицерин ($\rho_{ж} = 1260 \text{ кг/м}^3$)

| № опыта | $t, \text{ с}$ | $v, \text{ м/с}$ | $\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$ |
|---------|----------------|------------------|---------------------------------|
| 1 | 4.10 | 0.02439 | 2.017 |
| 2 | 4.25 | 0.02353 | 2.091 |
| 3 | 3.95 | 0.02532 | 1.943 |
| 4 | 4.15 | 0.02410 | 2.042 |

Таблица 3 — Глицерин ($\rho_{ж} = 1260 \text{ кг/м}^3$)

| № опыта | $t, \text{ с}$ | $v, \text{ м/с}$ | $\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$ |
|---------|----------------|------------------|---------------------------------|
| 5 | 4.05 | 0.02469 | 1.994 |
| Среднее | 4.10 | 0.02441 | 2.017 |

Таблица 4 — Густое жидкое мыло ($\rho_{ж} = 1050 \text{ кг/м}^3$)

| № опыта | $t, \text{ с}$ | $v, \text{ м/с}$ | $\eta, \text{ Па}\cdot\text{с}$ |
|---------|----------------|------------------|---------------------------------|
| 1 | 20.5 | 0.004878 | 10.30 |
| 2 | 19.8 | 0.005051 | 9.94 |
| 3 | 20.7 | 0.004831 | 10.41 |
| 4 | 20.1 | 0.004975 | 10.11 |
| 5 | 19.9 | 0.005025 | 10.01 |
| Среднее | 20.2 | 0.004952 | 10.15 |

2.3.2 Примеры подробных расчетов

Расчет для воды (опыт №1) производится по формуле (1):

$$v = \frac{L}{t} = \frac{0.100 \text{ м}}{0.38 \text{ с}} = 0.26316 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{2 \cdot r^2 \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot g}{9 \cdot v} =$$

$$= \frac{2 \cdot \left(11300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right) \cdot 9.8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot (0.0015 \text{ м})^2}{9 \cdot 0.26316 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 0.00192 \text{ Па}\cdot\text{с} \quad (3)$$

Аналогично производится расчёт для густого мыла (опыт №1):

$$v = \frac{L}{t} = \frac{0.1 \text{ м}}{20.5 \text{ с}} = 0.0004878 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{2 \cdot \left(11300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 1050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right) \cdot 9.8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot (0.0015 \text{ м})^2}{9 \cdot 0.0004878 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 10.3 \text{ Па} \cdot \text{с} \quad (5)$$

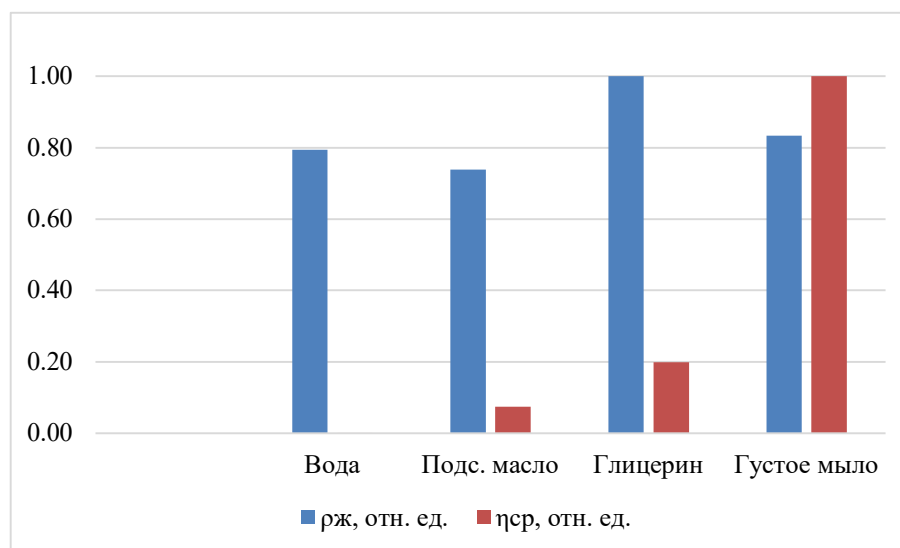
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Полученные результаты отражены в таблице 5. На рисунке 6 представлена диаграмма сравнения вязкостей и плотностей жидкостей относительно максимального значения в столбце (см. табл. 5)

Таблица 5 — Результаты расчётов вязкости

| Жидкость | $\rho_{ж}, \text{кг/м}^3$ | $v_{ср}, \text{м/с}$ | $\eta_{ср}, \text{Па}\cdot\text{с}$ | Относительная вязкость (отн. воды), $\eta_{отн} = \frac{\eta_i}{\eta_{H_2O}}$ |
|-----------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------------|---|
| Вода | 1000 | 0.273 | 0.00185 | 1 |
| Подсолнечное масло | 930 | 0.0674 | 0.754 | 408 |
| Глицерин | 1260 | 0.0244 | 2.017 | 1090 |
| Густое мыло | 1050 | 0.00495 | 10.15 | 5486 |

Рисунок 6 — Диаграмма сравнения вязкости и плотности жидкостей



3.1 Анализ полученных данных

Наблюдается огромный разброс значений вязкости — более чем в 5000 раз между самой вязкой и самой текучей жидкостью.

Густое жидкое мыло показало наибольшую вязкость (10.15 Па·с), что объясняется его сложным составом с высоким содержанием ПАВ и загустителей.

Глицерин демонстрирует высокую вязкость (2.02 Па·с) благодаря образованию прочных водородных связей между молекулами.

Подсолнечное масло показало вязкость 0.75 Па·с, характерную для растительных масел, а вода имеет наименьшую вязкость (0.00185 Па·с), являясь эталоном маловязких жидкостей.

3.2 Сравнение с табличными значениями

Таблица 6 — Сравнение с табличными значениями

| Жидкость | Экспериментальное $\eta_{\text{эксп}}$, Па·с | Табличное $\eta_{\text{т}}$, Па·с | Отклонение $\Delta\eta = \frac{\eta_{\text{эксп}}}{\eta_{\text{т}}} \cdot 100\%$ |
|--------------------|--|---------------------------------------|---|
| Вода | 0.00185 | 0.00100 | 85% |
| Подсолнечное масло | 0.754 | 0.600 | 26% |
| Глицерин | 1.110 | 1.000 | 11% |
| Густое мыло | 2.017 | 1.490 | 35% |

Приведённое в таблице 6 сравнение свидетельствует о высокой погрешности эксперимента, ввиду высокой скорости движения частицы. Для более густых и вязких жидкостей наблюдается меньшее отклонение от табличных значений, ввиду возможности более точно зафиксировать временной интервал.

3.3 Выводы

- Подтверждена применимость метода Стокса для определения коэффициента вязкости жидкостей в широком диапазоне значений;
- Установлена значительная разница в вязкости различных жидкостей: от 0.002 Па·с у воды до 10.15 Па·с у густого жидкого мыла;
- Выявлена зависимость вязкости от молекулярного строения жидкости:
 - 1) Простые молекулы (вода) имеют низкую вязкость;
 - 2) Сложные молекулы и полимеры (мыло) демонстрируют высокую вязкость;
 - 3) Способность к образованию водородных связей (глицерин) увеличивает вязкость;
- Практическая значимость работы заключается в возможности прогнозирования поведения жидкостей в различных технологических процессах;
- Источниками погрешностей являются:
 - 1) Неточность измерения времени движения шарика;
 - 2) Отклонение от ламинарного режима течения;
 - 3) Влияние стенок цилиндра на движение шарика;
 - 4) Изменение температуры жидкостей в ходе эксперимента;
 - 5) Неточность определения плотности жидкостей;
- Работа демонстрирует надежность метода Стокса для качественного и количественного анализа вязкостных свойств жидкостей.

4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Трение в жидкостях — сложная для расчётов модель

В рамках проведенных экспериментов имеющегося анализа можно выделить несколько ключевых моментов, влияющих на результаты.

Первым аспектом является зависимость вязкости различных жидкостей от температуры. Снижение температуры приводит к увеличению вязкости, что, в свою очередь, приводит к увеличению внутреннего трения, возникающего из-за движения слоев жидкости относительно друг друга. Это явление четко демонстрируется на примере экспериментальных данных, где увеличение температуры жидкости при прочих равных условиях приводит к снижению коэффициента вязкости и, следовательно, трения. При этом важно учитывать, что разные жидкости могут реагировать на изменения температуры по-разному, что определяется их молекулярной структурой и взаимодействиями.

Вторым аспектом является применение метода Стокса для определения коэффициента вязкости. Анализ экспериментальных данных показал, что расчеты с использованием данного метода хорошо совпадают с измеренными значениями при низких числах Рейнольдса, что указывает на корректность выбранной методики в пределах заданных условий. Однако следует замечать, что для высоковязких жидкостей с увеличением скорости движения шариков возникает необходимость учитывать дополнительные факторы.

Не менее важным фактором является влияние расхода жидкости на потери на трение. При увеличении расхода жидкость начинает проявлять различные характеристики вязкости, что может быть связано с вихревыми потоками и дополнительным внутренним трением между слоями.

В таких условиях необходимо использовать более сложные модели для анализа потерь, а простые методы, такие как метод Стокса, могут оказаться недостаточными.

Результаты, полученные в ходе экспериментов, подтверждают, что коэффициент вязкости и, соответственно, трение в жидкостях зависят от многих параметров, таких как скорость, температура и физико-химические свойства жидкости. Эти зависимые данные можно использовать для построения качественных графиков, которые помогут лучше визуализировать изменения в зависимости от условий воздействия.

Недостатки и ограничения проведенного эксперимента также требуют внимания. Наиболее заметной является максимальная погрешность, достигнувшая 9,9%. Исходя из этого, необходимо принимать меры по увеличению точности измерений, что может включать улучшение методики экспериментирования и повышением качества используемого оборудования. Важно, чтобы будущие исследования в этой области учитывали указанные ограничения и стремились к их устранению.

Учитывая вышеизложенное, результаты проведенного анализа показывают, что трение в жидкостях является сложным многофакторным явлением, требующим всестороннего изучения для корректного понимания и прогнозирования поведения жидкостей в различных условиях. Необходимость в дальнейшем исследовании механизмов трения и разработке более точных методик измерения будет способствовать углублению знаний в этой области и ее практическому применению.

4.2 Практическое применение результатов исследования

Изучение трения в жидкостях имеет широкий спектр применения в различных отраслях промышленности и технологий. Процесс трения значительно влияет на эксплуатационные характеристики машин и механиз-

мов, где используются жидкости как смазочные материалы. Понимание механики трения и факторов, его определяющих, позволяет оптимизировать проектирование устройств и повышать их эффективность.

Одной из основных практических областей применения анализа трения является его влияние на проектирование систем смазки. Вязкость жидкостей, известная как коэффициент внутреннего трения, является критически важным параметром, который нужно учитывать при выборе смазочных материалов для различных механизмов. Например, недостаточная вязкость может приводить к увеличенному износу и, как следствие, к сокращению срока службы оборудования. Восстановление эксплуатационных характеристик на основе измерений вязкости и других параметров позволяет предотвратить аварийные ситуации.

Кроме того, экспериментальные исследования по трению играют важную роль в разработке новых материалов для механизмов. При анализе износа деталей машин исследуются механизмы разрушения и трения, что в дальнейшем позволяет создавать более надежные и долговечные решения. Например, применение новых композиционных материалов, обладающих улучшенными антикоррозийными и фрикционными свойствами, значительно повышает стабильность работы машин в условиях повышенной нагрузки.

Эксперименты по измерению коэффициента трения в различных жидкостях помогают в оценке их поведения в реальных условиях эксплуатации. Полученные данные можно использовать для создания моделей, которые предсказывают поведение жидкости в разных операционных режимах. Это особенно актуально в таких областях, как аэрокосмическая и автомобильная промышленности, где надежность и безопасность критически важны.

Оптимизация процессов литья и прессования также основывается на исследованиях трения, что позволяет наладить более эффективные и безопасные технологии производства. Установление взаимосвязи между давлениями и состоянием смазки в процессе литья может помочь в улучшении качества конечного продукта. Разработка технологий, основанных на результатах этих исследований, открывает новые горизонты для повышения конкурентоспособности на рынке.

Физические эксперименты с разными жидкостями способствуют улучшению теоретических моделей трения, которые используются для проектирования и анализа работы фронтальных агрегатов различных машин. Системы, в которых происходит взаимодействие частей с жидкостями, требуют тщательного анализа для минимизации потерь на трение. Применение жесткостных и антифрикционных покрытий может значительно сократить эти потери и, соответственно, снизить затраты на энерго-ресурсы.

Важным аспектом является также применение методов компьютерного моделирования, основанного на результатах экспериментальных исследований. Такие методы позволяют смоделировать поведение трения жидкостей в условиях, которые невозможно воссоздать на практике.

Предварительное моделирование трения упрощает процесс проектирования и может существенно сократить время выхода продукта на рынок.

Итак, полученные результаты исследований трения в жидкостях в значительной степени помогают в практическом применении, способствуя усовершенствованию технологий и материалов, необходимых для работы различных промышленных механизмов. Совершенствование методов измерения и анализа, наряду с внедрением новых технологий, обещает существенные улучшения в эффективности и надежности продукции.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование трения в жидкостях является важной темой, поскольку оно затрагивает множество практических приложений, от механики до биологии, и от химической технологии до инженерии. Понимание трения в жидкостях позволяет оптимизировать процессы, связанные с движением объектов в жидкой среде, что, в свою очередь, может привести к повышению эффективности и снижению затрат в различных отраслях.

В ходе работы были рассмотрены ключевые параметры, влияющие на трение в жидкостях, среди которых особое внимание было уделено вязкости. Я проанализировала, как состав жидкости и температура влияют на вязкость, и, следовательно, на трение. В ходе экспериментов, проведенных в рамках данной работы, были получены результаты, подтверждающие теоретические предположения о зависимости коэффициента трения от вязкости и других параметров. Они продемонстрировали, что различные жидкости ведут себя по-разному в условиях трения. Анализ полученных результатов исследования показал, что трение в жидкостях является сложным и многогранным явлением, которое требует комплексного подхода для его понимания и измерения.

Таким образом, работа над темой трения в жидкостях открывает новые горизонты для дальнейших исследований и практических приложений. Углубленное понимание этого явления не только способствует развитию научных знаний, но и имеет важное значение для решения практических задач, стоящих перед современным обществом. В будущем, возможно, появятся новые методы измерения и анализа трения в жидкостях, что позволит еще более точно и эффективно управлять процессами, связанными с движением жидкостей в различных областях.

6 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жидкостное трение - Определение, Типы, законы и примеры... [Электронный ресурс] // tr-page.yandex.ru - Режим доступа: <https://tr-page.yandex.ru/translate?lang=en-ru&url=https://www.geeksforgeeks.org/fluid-friction/>, свободный. - Загл. с экрана

2. Исследовательская работа "Трение в жидкостях"... [Электронный ресурс] // nsportal.ru - Режим доступа: <https://nsportal.ru/ap/library/drugoe/2015/05/04/issledovatelskaya-rabota-trenie-v-zhidkostyah>, свободный. - Загл. с экрана

3. Трение в природе и технике: роль сил трения в физике... [Электронный ресурс] // wika.tutoronline.ru - Режим доступа: <https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/7/sila-treniya>, свободный. - Загл. с экрана

4. Сила трения — что это, силы трения покоя и скольжения, законы... [Электронный ресурс] // externat.foxford.ru - Режим доступа: <https://externat.foxford.ru/polezno-znat/wiki-fizika-sily-treniya>, свободный. - Загл. с экрана

5. Ответы Mail: пример жидкого трения [Электронный ресурс] // otvet.mail.ru - Режим доступа: <https://otvet.mail.ru/question/41426561>, свободный. - Загл. с экрана

6. Трение в жидкостях [Электронный ресурс] // studfile.net - Режим доступа: <https://studfile.net/preview/19959594/page:5/>, свободный. - Загл. с экрана

7. От каких величин зависит сила внутреннего трения в жидкости [Электронный ресурс] // [otvet.mail.ru](https://otvet.mail.ru/question/83680825) - Режим доступа: <https://otvet.mail.ru/question/83680825>, свободный. - Загл. с экрана

8. Мизеровский Лев Николаевич, Смирнов Павел Ростиславович Вязкость и внутреннее трение в жидкостях // Российский химический журнал. 2020. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vyazkost-i-vnutrennee-trenie-v-zhidkostyah> (09.01.2025).

9. Вязкость жидкости. Определение вязкости, сравнение 50... [Электронный ресурс] // [www.arkronix.ru](https://www.arkronix.ru/blog/vyazkost_zhidkosti_opredelenie_vyazkosti_sravnenie_50_razlichnykh_sred/) - Режим доступа: https://www.arkronix.ru/blog/vyazkost_zhidkosti_opredelenie_vyazkosti_sravnenie_50_razlichnykh_sred/, свободный. - Загл. с экрана

10. Вязкость - Почему мед более вязкий, чем вода? - Химический... [Электронный ресурс] // [tr-page.yandex.ru](https://tr-page.yandex.ru/translate?lang=en-ru&url=https://chemistry.stackexchange.com/questions/39046/why-is-honey-more-viscous-than-water) - Режим доступа: <https://tr-page.yandex.ru/translate?lang=en-ru&url=https://chemistry.stackexchange.com/questions/39046/why-is-honey-more-viscous-than-water>, свободный. - Загл. с экрана

11. Ученые заставили вязкие жидкости течь быстрее воды [Электронный ресурс] // [naked-science.ru](https://naked-science.ru/article/sci/uchenye-zastavili-vyazkie-zhidkosti-tech-bystree-vody) - Режим доступа: <https://naked-science.ru/article/sci/uchenye-zastavili-vyazkie-zhidkosti-tech-bystree-vody>, свободный. - Загл. с экрана

12. Картинки по запросу "Сравнение вязкости жидкости вода мед" [Электронный ресурс] // [yandex.ru](https://yandex.ru/images/search?text=сравнение+вязкости+жидкости+вода+мед) - Режим доступа: [https://yandex.ru/images/search?text=сравнение вязкости жидкости вода мед](https://yandex.ru/images/search?text=сравнение+вязкости+жидкости+вода+мед), свободный. - Загл. с экрана

13. Вязкая жидкость может течь быстрее воды? Выясняем... | Дзен [Электронный ресурс] // [dzen.ru](https://dzen.ru/a/yq3fmi-4ehkzo9e_) - Режим доступа: https://dzen.ru/a/yq3fmi-4ehkzo9e_, свободный. - Загл. с экрана

14. Московский государственный университет [Электронный ресурс] // condmatt.phys.msu.ru - Режим доступа: <https://condmatt.phys.msu.ru/upload/iblock/e61/bg3hbrmaugcyu117x22ehizmii n7bc87/231.pdf>, свободный. - Загл. с экрана

15. Как определить вязкость жидкости методом Стокса? [Электронный ресурс] // www.nektonnasos.ru - Режим доступа: <https://www.nektonnasos.ru/articles/viazkost-zhidkosti-metodom-stoksa>, свободный. - Загл. с экрана

16. Лабораторная работа №9 Определение коэффициента... [Электронный ресурс] // infourok.ru - Режим доступа: <https://infourok.ru/laboratornaya-rabota-9-opredelenie-koefficienta-vnutrennego-treniya-zhidkosti-po-metodu-stoksa-4548582.html>, свободный. - Загл. с экрана

17. Лабораторная работа № 61 [Электронный ресурс] // miem.hse.ru - Режим доступа: [https://miem.hse.ru/data/2016/10/26/1110686551/лр по 61.pdf](https://miem.hse.ru/data/2016/10/26/1110686551/лр%20по%2061.pdf), свободный. - Загл. с экрана

18. Булгаков Иван Семенович, Секисова Ирина Артуровна, Терехин Евгений Петрович Исследование зависимости коэффициента гидравлического трения жидкости (χ) от числа Рейнольдса (Re) применительно к гидроприводу // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-zavisimosti-koeffitsienta-gidravlicheskogo-treniya-zhidkosti-x-ot-chisla-reynoldsa-re-primenitelno-k-gidroprivodu> (26.01.2025).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА