МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ЛИЦЕЙ №5 Г. ЕЛЬЦА ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ**

Выполнила

ученица 9 а класса МБОУ лицея №5

Терехова Виолетта

**Научный руководитель**:

Терехова Наталья Николаевна

учитель физики

**Место выполнения работы:**

МБОУ лицей № 5, г. Елец, Липецкой области

**2016**

**СОДЕРЖАНИЕ**

страница

ВВЕДЕНИЕ................................................................................................................3

ГЛАВА I. Вязкость жидкости

1.1. Характеристика жидкого состояния...…..............……………………………….. 4

1.2. Что такое вязкость?.......................….................................................................................... 5

1.3 Применение вязких жидкостей …………………………………………………. 6

ГЛАВА II. Экспериментальное определение коэффициента вязкости жидкости

2.1. Результаты анкетирования. .................................................................................9

2.2. Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса ………………..10

ГЛАВА III. ВЫВОДЫ....………………………………………………….……..12

ЗАКЛЮЧЕНИЕ………………………………………………………….………...13

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ………................................................………. 14

ПРИЛОЖЕНИЯ……………………………………………………………………15

**ВВЕДЕНИЕ**

Определение коэффициента вязкости жидкости представляет не только научно-познавательный интерес, но и несет в себе важное практическое значение. В гидросистемах рабочие жидкости не только передают энергию от насоса к гидродвигателям, но также смазывают все детали компонентов и отводят выделяемое тепло от пар трения. Не соответствующая режиму работы вязкость рабочей жидкости может серьезно нарушать эффективность всей гидравлики. Таким образом, физический смысл коэффициента вязкости заключается в его влиянии (позитивном либо негативном) на узлы и механизмы транспортных средств, станков и оборудования.

**Объект исследования:** водопроводная вода, подсолнечное масло, машинное масло (жидкости).

**Предмет исследования:** коэффициент внутреннего трения жидкости –вязкость.

**Гипотеза:** если знать коэффициент вязкости жидкости( машинного масла), то можно избежать поломки двигателей автомобиля. Определение коэффициента вязкости позволяет прогнозировать работу оборудования и механизмов при различных условиях с учетом изменения состава жидкости либо газа, давления, температуры.

**Цель проекта:**  изучить явление внутреннего трения в жидкости и измерить коэффициента вязкости жидкости по скорости падения в ней шарика

Для реализации данного проекта необходимо выполнить ряд **задач:**

- изучить и систематизировать дополнительный материал о вязком трении;

- систематизировать знания об определении коэффициента трения;

- на основе расчетных данных провести анализ положительных и отрицательных факторов знания коэффициента вязкости жидкости;

- выяснить, как учитывают водители коэффициент вязкости масла.

**Методы исследования:**

анализ литературы; эксперимент, математические методы , выводы

**ГЛАВА I.**  **Вязкость жидкости**

**1.1.Характеристика жидкого состояния**

Жидкое состояние обычно считают промежуточным между твёрдым телом и газом: газ не сохраняет ни объём, ни форму, а твёрдое тело сохраняет и то, и другое. Жидкость – состояние вещества, в котором оно может неограниченно менять форму при механическом воздействии снаружи, даже очень малом, практически сохраняя при этом объём. У жидкости нет такой сильной, как у твердого тела, внутренней связи между частицами, чтобы сопротивляться воздействию внешних сил (например, силе тяжести), поэтому та же сила тяжести не размазывает о стол, лежащий на нем стальной нож, но вжимает воду в стакан, заставляя ее принять его форму. Это свойство жидкостей называется текучестью. Другое важное свойство жидкостей, роднящее их с газами – вязкость. Она определяется, как способность оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой. Когда соседние слои частиц (молекул), составляющих жидкость, движутся относительно друг друга, неизбежно происходит столкновение частиц, и возникают силы, затормаживающие их упорядоченное движение. При этом кинетическая энергия упорядоченного движения частиц переходит в тепловую – выделяется тепло, что аналогично результату действия сил сухого трения, когда трущиеся поверхности разогреваются. Поэтому вязкость и назвали, по аналогии с твердыми телами, еще силами вязкого трения. Заметность действия сил вязкого трения легко увидеть, размешивая, например, в кастрюле воду. Помешивая ложкой по окружности маленького радиуса, в центре кастрюли, мы замечаем, что сначала вращается лишь центр водяной линзы, а потом, постепенно, во вращение начинают вовлекаться все новые и новые наружные слои жидкости – и они вовлекаются за счет трения слоев молекул воды друг о друга. Чем больше вязкость размешиваемой жидкости – тем больше сил приходится прикладывать к ложке, и тем легче вовлекаются в движение внешние слои. Вязкостью обладают все жидкости (кроме сверхтекучей фракции жидкого гелия), и у всех она разная. Сжиженные газы очень текучи, жидкости при комнатной температуре тоже не слишком вязкие. Наибольшей же вязкостью обладают сложные жидкие системы - гели, эмульсии или суспензии, в том числе жидкости с крайне высокой вязкостью - стекла и аморфные твердые тела. Вязкость стекол настолько высока, что при механическом воздействии на стекло оно предпочтет скорее иметь нарушенную структуру, нежели сместить слои своих молекул друг относительно друга – и лопнуть, вместо того, чтобы потечь. Вместе с тем, если посмотреть, например, на старое оконное стекло, которому уже несколько (минимум пять) десятков лет, то можно заметить, что вверху и внизу стеклянный лист имеет неодинаковую толщину. Это говорит о том, что стекло все-таки течет, но чудовищно медленно. Все обладающие вязкостью жидкости подразделяются на ньютоновские и неньютоновские.

1.2 **Что такое вязкость?**

**Вя́зкость** (**вну́треннее тре́ние**) — одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. В результате работа, затрачиваемая на это перемещение, рассеивается в виде тепла.

Механизм внутреннего трения в жидкостях и газах заключается в том, что хаотически движущиеся молекулы переносят импульс из одного слоя в другой, что приводит к выравниванию скоростей — это описывается введением силы трения. Вязкость твёрдых тел обладает рядом специфических особенностей.

**1.3** **Применение вязких жидкостей**

**В военном производстве:**

В мире очень популярны данные жидкости. В США на основе данных жидкостей, министерство обороны начало выпуск бронежилетов для военных. Данные бронежилеты по своим характеристикам лучше обычных, так как легче по весу и проще в изготовлении. Еще в 2010 году начались испытания готового опытного бронежилета на основе геля. Для этого обстреливались опытные и контрольные образцы. 9-миллиметровые пули патрона 9х19 мм Люгер выстреливались из специальной пневматической пушки с дульной скоростью порядка 300 м/с, что в некоторой мере аналогично большинству типов 9 огнестрельного оружия под этот патрон. Характеристики защиты экспериментального и контрольного бронежилета оказались примерно одинаковыми.

**В автомобильной промышленности**: Так же вязкие жидкости используются в автомобильной промышленности. Моторные масла синтетического производства на основе неньютоновских жидкостей уменьшают свою вязкость в несколько десятков раз, при повышении оборотов двигателя, позволяя при этом уменьшить трение в двигатели. Данные жидкости применяют в новейших технологиях для амортизации некоторых элементов транспортного оборудования или механических машин. Реологические исследования позволяют решать прикладные гидродинамические задачи - транспорт неньютоновских жидкостей по трубопроводам, течение полимеров, пищевых продуктов, строительных материалов в перерабатывающем оборудовании, движение буровых растворов в пластах и т.д. Перспективно применение высокодисперсных адсорбентов, например диатомитов, с адсорбированными на их поверхности веществами, способными образовывать с адсорбентами водородные связи (спирты, высшие жирные кислоты, амины). Суспензииприменяют в качестве рабочей жидкости гидравлических систем, в виде тонких пленок в тормозных и др. устройствах, в т.ч. в коробках передач, генераторах крутильных колебаний и т. п.

**В нефтепромышленности**:

Практический интерес представляет также использование специфических реологических эффектов. Так, малые полимерные добавки к воде и нефтепродуктам придают жидкости новые реологические свойства, благодаря чему резко снижается гидравлическое сопротивление при турбулентном течении (эффект Томса). Неньютоновы жидкости обладают рядом особенностей. Например, они имеют память. Дело в том, что время, характерное для процесса перестройки длинных молекул, может превышать время наблюдения за течением жидкости. Течение не успевает перестроиться, имеет место эффект запаздывания, а значит, эффект памяти. Удивительные свойства неньютоновых жидкостей. Двигаясь в трубе, жидкость испытывает силу трения о ее поверхность, в результате чего кинетическая энергия переходит в тепловую. Поэтому снижение силы трения является важной технической проблемой. Как оказалось, добавление в жидкость малого количества полимера значительно снижает силу трения. Этот эффект используют при перекачке нефти по длинным трубопроводам.

**В мореплавании и пожаротушении**

Всего лишь 20 миллионных долей полиокса (длинноцепочного полимера) могут снизить силутрения турбулентного потока в трубе на 50 %! В 50-е годы американские пожарные начали добавлять полимерные добавки в жидкость, вытекающую из брандспойта, при этом длина струи увеличивалась в полтора раза. Полимерные добавки в смазывающих материалах повышают ресурсы станков и приборов. Можно увеличивать скорость судна путем впрыскивания вблизи его носовой части малых количеств полимерного раствора. Имеется гипотеза, что дельфины и другие обитатели морей и океанов тоже «используют» эффект Томса для уменьшения гидродинамического сопротивления.

**В косметологии:**

Чтобы косметика держалась на коже, ее делают вязкой, будь это жидкий тональный крем, блеск для губ, подводка для глаз, тушь для ресниц, лосьоны, или лак для ногтей. Вязкость для каждого изделия подбирается индивидуально, в зависимости от того, для какой цели оно предназначено. Блеск для губ, например, должен быть достаточно вязким, чтобы долго оставаться на губах, но не слишком вязким, иначе тем, кто им пользуется, будет неприятно ощущать на губах что-то липкое. В массовом производстве косметики используют специальные вещества, называемые модификаторами вязкости. В домашней косметике для тех же целей используют разные масла и воск. В гелях для душа вязкость регулируют для того, чтобы они оставались на теле достаточно долго, чтобы смыть грязь, но не дольше, чем нужно, иначе человек почувствует себя снова грязным. Обычно вязкость готового косметического средства изменяют искусственно, добавляя модификаторы вязкости. Наибольшая вязкость — у мазей. Вязкость кремов — ниже, а лосьоны — наименее вязкие. Благодаря этому лосьоны ложатся на кожу более тонким слоем, чем мази и кремы, и действуют на кожу освежающе. По сравнению с более вязкой косметикой, их приятно использовать даже летом, хотя втирать их нужно сильнее и чаще приходится наносить повторно, так как они долго не задерживаются на коже. Кремы и мази дольше остаются на коже, чем лосьоны, и сильнее ее увлажняют. Их особенно хорошо использовать зимой, когда в воздухе меньше влаги. В холодную погоду, когда кожа сохнет и трескается, очень помогают такие средства как, например, масло для тела — это что-то среднее между мазью и кремом. Мази намного дольше впитываются и после них кожа остается жирной, но они намного дольше остаются на теле. Поэтому их часто используют в медицине. От того, понравилась ли вязкость косметического средства покупателю, часто зависит, выберет ли он это средство в будущем. Именно поэтому производители косметики тратят много усилий на то, чтобы получить оптимальную вязкость, которая должна понравиться большинству покупателей. Один и тот же производитель часто выпускает продукт для одних и тех же целей, например гель для душа, в разных вариантах и с разной вязкостью, чтобы у покупателей был выбор. Во время производства строго следуют рецепту, чтобы вязкость соответствовала стандартам

**В кулинарии:**

Чтобы улучшить оформление блюд, сделать еду более аппетитной и чтобы ее было легче есть, в кулинарии используют вязкие продукты питания. Продукты с большой вязкостью, например, соусы, очень удобно использовать, чтобы намазывать на другие продукты, как хлеб. Их также используют для того, чтобы удерживать слои продуктов на месте. В бутерброде для этих целей используют масло, маргарин, или майонез — тогда сыр, мясо, рыба или овощи не соскальзывают с хлеба. В салатах, особенно многослойных, также часто используют майонез и другие вязкие соусы, чтобы эти салаты держали форму. Самые известные примеры таких салатов — селедка под шубой и оливье. Если вместо майонеза или другого вязкого соуса использовать оливковое масло, то овощи и другие продукты не будут держать форму. Вязкие продукты с их способностью удерживать форму используют также для украшения блюд. Например, йогурт или майонез на фотографии не только остаются в той форме, которую им придали, но и поддерживают украшения, которые на них положили.

**В медицине:**

В медицине необходимо уметь определять и контролировать вязкость крови, так как высокая вязкость способствует ряду проблем со здоровьем. По сравнению с кровью нормальной вязкости, густая и вязкая кровь плохо движется по кровеносным сосудам, что ограничивает поступление питательных веществ и кислорода в органы и ткани, и даже в 11 мозг. Если ткани получают недостаточно кислорода, то они отмирают, так что кровь с высокой вязкостью может повредить как ткани, так и внутренние органы. Повреждаются не только части тела, которым нужно больше всего кислорода, но и те, до которых крови дольше всего добираться, то есть, конечности, особенно пальцы рук и ног. При обморожении, например, кровь становится более вязкой, несет недостаточно кислорода в руки и ноги, особенно в ткань пальцев, и в тяжелых случаях происходит отмирание ткани.

Низкая вязкость рабочей жидкости (масло невысокой плотности) приводит к следующим негативным явлениям:

Падение объемного КПД насосов в результате возрастающих внутренних утечек.

Возрастание внутренних утечек в гидрокомпонентах всей гидросистемы – насосах, клапанах, гидрораспределителях, гидромоторах.

Повышенный износ качающих узлов и заклинивание насосов по причине недостаточной вязкости рабочей жидкости, необходимой для обеспечения смазки трущихся деталей.

Сжимаемость Любая жидкость под действием давления сжимается. В отношении масел и СОЖ, используемых в машиностроительной гидравлике, эмпирически установлено, что процесс сжатия обратно пропорционален величине массы жидкости на ее объем. Величина сжатия выше для минеральных масел, значительно ниже для воды и гораздо ниже для синтетических жидкостей. В простых гидросистемах низкого давления сжимаемость жидкости ничтожно мало влияет на уменьшение первоначального объема. Но в мощных машинах с гидроприводом высокого давления и крупными гидроцилиндрами этот процесс проявляет себя заметно. У гидравлических минеральных масел при давлении в 10,0 МПа (100 бар) объем уменьшается на 0,7%. При этом на изменение объема сжатия в небольшой степени влияют кинематическая вязкость и тип масла. Вывод. Также контроль этих показателей актуален в нефтегазовой сфере, коммунальном хозяйстве, других отраслях промышленности.

Таким образом, вязкость жидкости необходимо учитывать в многих сферах деятельности человека. Изучив дополнительные литературные источники, я выяснила значимость учета вязкости жидкости, а также ее преимущества и недостатки.

ГЛАВА II Экспериментальное определение коэффициента вязкости жидкости

2.1. **Результаты анкетирования.**

С целью выяснения распространённости знаний о существовании неньютоновских жидкостей автором работы проведено анкетирование учеников 7 – 11 классов, учителей и работников МБОУ лицея №5. (Приложение 1.) Ни один из респондентов не назвал неньютоновские жидкости, что говорит об отсутствии знаний о жидкостях такого рода. Но интуитивно 50 % опрошенных школьников поняли, что такие жидкости существуют и 78% респондентов уверены, что это не вода. 17% опрошенных учеников очень близки к пониманию того, каким образом можно передвигаться по поверхности жидкости и какой она должна быть: передвигаться очень быстро, а жидкость должна быть очень вязкой. И неожиданно ответ «кисель» оказался очень близок к истине. Результаты анкетирования взрослых показали примерно такую же картину, как и результаты школьников. Большая часть взрослых респондентов уверена, что ходить по воде и другим жидкостям нельзя (73% отрицательных ответов на 1 вопрос и 60 % - на второй). 27 % предполагают, что такие жидкости существуют: это жидкости вязкие, с большой плотностью. Результаты анкетирования убедительно показали, что данная работа будет интересна не только школьникам, но и взрослым. С результатами исследований планирую выступить на научно-практической конференции.

2.2 **Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса**

Порядок выполнения работы:

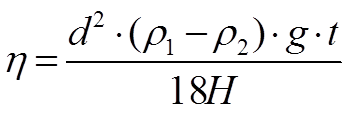
1. Измерить диаметр ***d*** шарика штангенциркулем.

2. Измерить расстояние ***H***между метками на стеклянном цилиндре линейкой.

3. Измерить время  ***t*** падения шарика между метками с помощью секундомера.

4. Измерить температуру жидкости термометром.

5. Найти по таблице плотность исследуемой жидкости для измеренной температуры и плотность шарика.

6. Вычислить коэффициент внутреннего трения жидкости по формуле: 

**Эксперимент №1.1** *Оборудование:* исследуемая жидкость: вода, температура которой 40˚С, а плотность ρ=1000 кг/м3; цилиндрический сосуд; шарики (пластмассовый, стальной, пластилиновый); секундомер; термометр.( приложение2)



Вывод: среднее значение коэффициента вязкости для стального пластмассового и пластилинового шариков разное для одной и той же жидкости. Плотность вещества, из которого сделан шарик, влияет на результат определения коэффициента внутреннего трения: чем плотность больше, тем полученное значение коэффициента внутреннего трения больше. С увеличением плотности шарика коэффициент внутреннего трения увеличивается**.** Но, коэффициент внутреннего трения жидкости (в пределах исследуемой жидкости) не должен зависеть от плотности шарика*.* Шарик является лишь средством для измерения коэффициента вязкости. Известно, что, чем больше плотность шарика, тем больше нужно времени для установления равномерного движения. Из расчетной формулы видно, что, чем больше скорость равномерного движения, тем меньше коэффициент вязкости. Так как в результате опыта было установлено, что с увеличением плотности шарика коэффициент внутреннего трения увеличивается, то можно сделать вывод, что возможно путь равномерного движения был установлен не точно, то есть реальная скорость равномерного движения шарика была гораздо больше. Это и является причиной того, что в результате опыта **было установлено, что с увеличением плотности шарика коэффициент внутреннего трения увеличивается.**

**Эксперимент №2** *Оборудование:* исследуемая жидкость: вода, температура которой 20˚С; цилиндрический сосуд шарики (пластмассовый, стальной, пластилиновый); секундомер; термометр.( приложение 3)

Вывод: из таблицы видно, среднее значение коэффициента вязкости для пластмассового шарика: **0,09 Па·с** ; для пластилинового шарика: **0,33 Па·с** ; а стали – **1,85 *Па·с.*** Эти значения также подтверждают: чем плотность шарика больше, тем полученное значение коэффициента внутреннего трения жидкости больше. Значения коэффициента вязкости тёплой воды меньше коэффициента вязкости холодной воды. Следовательно, коэффициент вязкости воды сильно зависит от температуры. Это связано с различиями в характере движения молекул. При понижении температуры вязкость некоторых жидкостей настолько возрастает, что они теряют способность течь.

**Эксперимент №3**. *Оборудование:* исследуемая жидкость: растительное масло, машинное масло,; цилиндрический сосуд шарики (пластмассовый, стальной, пластилиновый); секундомер; термометр. ( приложение 4)

**Вывод:** в трёх исследуемых жидкостях **с**реднее значение коэффициента вязкости в воде: 0,49 Па\*с, в растительном масле:0,66 Па\*с и в машинном масле: 1,58 Па\*с. С уменьшением плотности жидкости, коэффициент вязкости увеличивается. Сравнивая результаты полученные в данном эксперименте с результатами предыдущего опыта я выяснил, что плотность жидкости влияет на величину коэффициента внутреннего трения. В растительном масле коэффициент вязкости больше, чем в простой воде .Таким образом, вязкость исследуемых жидкостей, как видно из таблиц и диаграммы имеет различные значения. Она зависит от природы жидкости, от её плотности, температуры и даже плотности движущегося тела. Вязкость в значительной степени зависит от мольной массы вещества, строения молекул, типа межмолекулярных взаимодействий. Коэффициент вязкости жидкостей представленных в таблице больше вязкости воды.

**ГЛАВА III. ВЫВОДЫ**

Данная исследовательская работа проводилась с января по февраль.

Ставя перед собой цель изучить особенности вязких жидкостей, мне удалось провести эксперименты, выяснить, как определить коэффициент вязкости жидкостей.

Выводы: В результате проведенных опытов я выяснила, что

1. Коэффициент внутреннего трения зависит от свойств среды (температуры), плотности исследуемой жидкости, размеров и плотности взаимодействующего тела (шарика).

2. Koэффициент вязкости жидкости зависит от температуры: с увеличением температуры вязкость жидкостей резко падает.

3. С увеличением плотности шарика коэффициент внутреннего трения увеличивается.

4. Чем больше скорость равномерного движения, тем меньше коэффициент вязкости.

5. Вязкость – измерение внутреннего трения жидкости..

6**.** Вязкость в значительной степени зависит от мольной массы вещества, строения молекул, типа межмолекулярных взаимодействий. Коэффициент вязкости жидкостей представленных в таблице больше вязкости воды.

Гипотезу, выдвинутую в начале работы, я считаю, что подтвердила. Результаты анкетирования убедительно показали, что данная работа будет интересна не только школьникам, но и взрослым.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Определение коэффициента вязкости позволяет прогнозировать работу оборудования и механизмов при различных условиях с учетом изменения состава жидкости либо газа, давления, температуры. Также контроль этих показателей актуален в нефтегазовой сфере, коммунальном хозяйстве, других отраслях промышленности. В продолжение начатой работы хочу получить неньютоновские жидкости в лабораторных условиях, выработать рекомендации водителям по приобретению машинного масла и распространить в печати, в частности в газете «Красное знамя», журнале «Молодежный вестник», раздать буклет на улице. Ведь «правильное» масло влияет на работу двигателей.

**Использованная литература**

1. Детская энциклопедия для среднего и старшего возраста, т.3 Вещество и энергия, – 3-е изд., М.: Педагогика, 1973

2. Уокер Дж. Физический фейерверк: - 2-е изд. Пер.с англ./ Под ред. И.Ш.Слободецкого. – М.: Мир, 1998.

3. Уилкинсон У. Л., Неньютоновские жидкости, пер. с англ., М., Издательство: Мир , 1964

4. В. М. Шаповалов. Валковые течения неньютоновских жидкостей. М.: Педагогика, 1993

5. Энциклопедический словарь юного физика / Сост.В.А.Чуянов. – 2-е изд., испр. и доп.- М.: Педагогика, 1991. – 336с.

6. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике, М.: Наука, 1979.- 944 с. http://www.chemport.ru/chemical\_encyclopedia\_article\_6291.html статья А. Я. Малкина, H. Б. Урьева. http://www.labh.ru/ классификация неньютоновских жидкостей http://www.phys-encyclopedia.net/ http://www.d3o.com военная энциклопедия http://www.ai08.org/index.php технический словарь, вязкоупругие тела http://www.femto.com.ua энциклопедия физики и техники внутреннее трение http://files.school-collection.edu.ru о реологии, как науки о деформациях и текучести сплошных сред http://ru.wikipedia.org основные понятия http://www.highexpert.ru физические свойства жидкостей http://dxdy.ru/ научный форум, помощь в некоторых вопросах http://www.techgidravlika.ru классификации жидкости

[**http://fb.ru/article/203851/koeffitsient-vyazkosti-koeffitsient-dinamicheskoy-vyazkosti-fizicheskiy-smyisl-koeffitsienta-vyazkosti**](http://fb.ru/article/203851/koeffitsient-vyazkosti-koeffitsient-dinamicheskoy-vyazkosti-fizicheskiy-smyisl-koeffitsienta-vyazkosti)

*Приложение 1*

Содержание анкеты:

1. Как Вы думаете, может ли человек ходить по поверхности воды?

2. Может ли человек ходить по поверхности какой-либо другой жидкости?

3. Если «да», то, что это за жидкость?

Приложение 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | dш,  10-3 м | H,  10-2 м | t, c | Плотность  воды  кг/м3 | Плотность  шарика  кг/м3 | ηэ, Па·с | ηэ,  Па·с  сред. | ηэ,  Па·с  Тёп.  воды |
| 1 | 16 | 20,5 | 0,25 | 1000 | 1350  пластмасса | 0,06 | 0,055 | 0,49 |
| 2 | 0,21 | 0,05 |
| 3 | 0,23 | 0,055 |
| 1 | 20 | 1,03 | 1400  пластилин | 0,433 | 0,434 |
| 2 | 1,02 | 0,428 |
| 3 | 1.05 | 0,441 |
| 1 | 18 | 0,16 | 7800  cталь | 0,936 | 0,995 |
| 2 | 0,18 | 1,053 |
| 3 | 0,17 | 0,995 |

Приложение 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | dш,  10-3 м | H,  10-2 м | t, c | Плотность  воды  кг/м3 | Плотность  шарика  кг/м3 | ηэ,  Па·с | ηэ,  Па·с  сред. | ηэ,  Па·с  Х.в. |
| 1 | 16 | 20,5 | 0,27 | 1000 | 1350  пластмасса | 0,0648 | 0,0624 | 0,55 |
| 2 | 0,25 | 0,0600 |
| 3 | 0,26 | 0,0624 |
| 1 | 20 | 20,5 | 1.12 | 1400  пластилин | 0,476 | 0,466 |
| 2 | 1.07 | 0,455 |
| 3 | 1.10 | 0,468 |
| 1 | 18 | 20,5 | 0,20 | 7800  сталь | 1,170 | 1,112 |
| 2 | 0,18  0,19 | 1,053  1,112 |

Приложение 4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | dш,  10-3 м | H,  10-2 м | t, c | Плотность  растительного  масла  кг/м3 | Плотность  шарика  кг/м3 | ηэ,  Па·с | ηэ,  Па·с  средн. | ηэ,  Па·с  растит.  масла |
| 1 | 16 | 20,5 | 0,29 | 930 | 1350  пластмасса | 0,083 | 0,086 | 0,66 |
| 2 | 0,30 | 0,086 |
| 3 | 0,31 | 0,089 |
| 1 | 20 | 1.18 | 1400  пластилин | 0,472 | 0,473 |
| 2 | 1.24 | 0,496 |
| 3 | 1.20 | 0,480 |
| 1 | 18 | 0,25 | 7800  сталь | 1,478 | 1,418 |
| 2  3 | 0,23  0,24 | 1,359  1,418 |