

**О.В.Фёдорова, О. С. Андранович**

**ОСНОВЫ ТРИБОЛОГИИ  
И ТРИБОТЕХНИКИ**

**Учебно-методическое пособие**

**Санкт-Петербург**

**2018**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«САНКТ – ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**  
**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

**О.В.Фёдорова, О. С. Андранович**

# **ОСНОВЫ ТРИБОЛОГИИ**

# **И ТРИБОТЕХНИКИ**

**Учебно-методическое пособие**  
**для проведения лабораторных работ**  
**для студентов всех форм обучения**

**Санкт-Петербург**

**2018**

УДК 621(075)

Ф 333

ББК 34.4

ФЁДОРОВА О.В., АНДРАНОВИЧ О.С. Основы трибологии и триботехники: учебно-методическое пособие для проведения лабораторных работ для студентов всех форм обучения/ ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2018.- 69 с.

В учебно-методическом пособии изложены теоретические основы и лабораторные работы, а также вопросы для самопроверки в виде тестов при изучении курса «Основы трибологии и триботехники».

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов всех форм обучения института технологии, проходящих подготовку по направлению 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Рецензенты:

канд. хим. наук, доцент кафедры физической и коллоидной химии ВШТЭ СПбГУПТД Е. Ю. Демьянцева ;

доцент кафедры неорганической химии РГПУ им. А.И. Герцена, канд. хим. наук А.Н. Борисов.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве учебно-методического пособия.

© Федорова О.В., Андранович О.С., 2018

© Высшая школа технологии  
и энергетики СПбГУПТД, 2018

---

Редактор и корректор Н.П. Новикова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2018, поз.71

---

Подп. к печати 20.11.18 Формат 60X84/16. Бумага тип.№ 1.

Печать офсетная. Объем 4,5 печ. л.;4,5 уч.- изд. л. Изд. № 71.

Тираж 100 экз. Цена «С». Заказ

---

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4

## Введение

Повышение надежности и долговечности машин, решение экологических задач являются одними из главных проблем современной науки и техники. Известно, что основной причиной выхода из строя машин является не их поломка, а износ подвижных сопряжений и рабочих органов под влиянием сил трения. Поэтому указанные проблемы могут быть решены только при удачном применении результатов теоретических и прикладных исследований в области трения, изнашивания и смазки, так называемых трибологических явлений.

Проблемы трения, износа и смазки в машинах изучает трибология. Прикладными задачами по повышению износостойкости и управлению трением за счет применения новых конструкций узлов, материалов и эксплуатационных приемов занимается триботехника.

Термин "трибология" (от греч. "tribos" - трение) впервые появился в печати в 1966 г. в докладе группы британских экспертов парламенту о состоянии проблем смазки.

Трибология — научно-техническая дисциплина, рассматривающая взаимодействие поверхностей в относительном движении и его практические приложения, или трибология — наука о трении, износе и смазочном действии в машинах и механизмах.

Триботехника — как раздел трибологии — научно-техническая дисциплина, рассматривающая практическое применение трибологии при проектировании, изготовлении и эксплуатации узлов трения.

Задачей учебно-методического пособия является закрепление теоретического материала и получение навыков работы в лаборатории.

# 1. Техника безопасности при проведении лабораторных работ

1. Во время лабораторных занятий прием пищи и курение категорически запрещены.

2. Портфели и сумки не должны находиться на рабочих столах и на полу в проходах между ними.

3. Работу в лаборатории необходимо проводить в рабочих халатах, иметь при себе полотенце.

4. Никаких веществ в лаборатории не пробовать на вкус. Нюхать какие-либо вещества в лаборатории с осторожностью, не вдыхая полной грудью, а направляя к себе пары или газы движением руки.

5. Пробирку, в которой нагревается жидкость, периодически потряхивать, держать отверстием в сторону, а не к соседу, так как жидкость, вследствие нагревания, нередко выбрасывается из пробирки. При нагревании растворов использовать «кипелки» из стеклянных капилляров, битого кирпича или специальных материалов.

6. Не наклоняться над сосудами, в которых что-нибудь кипит или в которые наливается какая-нибудь жидкость (особенно едкая), так как брызги могут попасть в глаза.

7. Не выпаривать на рабочих столах кислот, аммиачных жидкостей, жидкостей, содержащих сероводород, хлор, бром, синильную кислоту, хлороводородную кислоту, а также не прокаливать в тиглях веществ, содержащих ртуть.

8. Не выбрасывать и не выливать крепкие кислоты, ртутные соли, ртуть и остатки опасных веществ (фосфор, сероуглерод и т.п.) в раковины, а выливать в специальные емкости.

9. По использованию для работы того или иного реактива склянки с таковыми должны немедленно закрываться пробкой. В случае использовании ряда реактивов необходимо следить за тем, чтобы каждая

посуда, содержащая тот или иной реактив, была закрыта своей пробкой. Склянка с раствором должна маркироваться четким шрифтом.

10. При приготовлении растворов кислот и щелочей из концентрированных растворов помнить правило: КИСЛОТУ И ЩЕЛОЧЬ ВЛИВАТЬ В ВОДУ, НО НЕ НАОБОРОТ! Жидкость большего удельного веса вливать в жидкость меньшего удельного веса при перемешивании. Если при разбавлении кислот (щелочей) раствор сильно нагревается, то его необходимо охладить под струей холодной воды при перемешивании колбы в специальном холодильнике или оставить на воздухе, а затем приливать следующую порцию кислоты (щелочи).

11. Пробы концентрированных кислот и щелочей, а также органических веществ отбираются пипеткой с грушей или по закону сообщающихся сосудов, а также с помощью мерного цилиндра, мензурки. Во избежание ожогов полости рта и отравления категорически запрещается засасывать эти вещества через пипетку ртом.

12. При отборе проб неконцентрированных растворов кислот и других растворов ртом необходимо пользоваться пипеткой с уширением в верхней ее части. Во избежание попадания растворов в рот отбор пробы следует проводить с осторожностью, следить за положением кончика пипетки, который должен быть погружен глубоко в объем анализируемого раствора.

13. Во избежание возможных взрывов не смешивать без надобности сухие соли друг с другом или крепкими кислотами.

14. При перемешивании приготовленных растворов в колбочке нельзя закрывать при этом колбочку пальцем. Правильно закрывать колбочку хорошо подобранной пробкой.

15. При переносе эксикаторов необходимо придерживать крышку эксикатора большими пальцами рук.

16. При прокаливании веществ в муфельной печи, чтобы избежать ожогов, пользоваться щипцами с длинной ручкой. С помощью щипцов перенести тигель из муфельной печи в эксикатор, не касаясь тигля руками.

17. Прокаливание веществ, находящихся на бумажном фильтре, необходимо проводить в две стадии: сначала обуглить бумажный фильтр в муфельной печи, находящейся в вытяжном шкафу, затем проводить по методике.

18. При работе в вытяжных шкафах следует держать открытым лишь самое необходимое пространство шкафа, и по окончании работы все лишнее и остающееся от работы немедленно должно быть убрано в шкаф, а шкаф закрыт.

19. В случае попадания кислоты на кожу тотчас же промыть пораженное место холодной водой, затем смочить слабым раствором соды, смазать вазелином и перевязать.

20. При ожоге кожи щелочью промыть пораженное место холодной водой, затем смочить слабым раствором уксусной кислоты, смазать вазелином и перевязать.

21. При попадании брызг кислоты в глаза или на лицо, немедленно опустить лицо в чистую воду, промыть глаза миганием ими, а затем немедленно обратиться к врачу.

22. При всех работах соблюдать максимальную осторожность, помня, что неаккуратность, невнимательность, недостаточное знакомство с прибором и свойствами веществ, с которыми ведется работа, могут повлечь за собой несчастный случай.

23. Все твердые отходы, встречающиеся при химических работах в лаборатории, должны выбрасываться в ящики, специально для этого установленные, а не в раковины.

24. Каждый студент обязан убрать свое рабочее место и сдать дежурному по группе. Дежурный по группе сдает лабораторию дежурному инженеру или преподавателю.

## **2. Оценка качества масел. Определение физико-химических характеристик**

Для обеспечения оптимальных условий работы двигателей внутреннего сгорания требуются высококачественные смазочные масла. Для придания всего необходимого комплекса эксплуатационных свойств в масла добавляют присадки, которые улучшают один или несколько показателей качества.

### **Лабораторная работа № 1**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ**

##### **Цель работы**

Определение вязкости масел - основного параметра, характеризующего их способность обеспечивать работоспособность оборудования в различных климатических условиях.

##### **Теоретические основы работы**

При установлении качества лакокрасочных материалов (лаков, смол, масел и др.) большое значение имеет вязкость продукта, которая должна строго соответствовать требованиям технических условий.

Для определения вязкости используют следующие методы:

1. Определение относительной вязкости, которое производится сравнением вязкости олифы, лака или уплотненного масла с вязкостью воды или сырого масла при одной и той же температуре.

2. Определение условной вязкости, которое заключается в установлении времени истечения определённого объема жидкости из данного сосуда через отверстие данного диаметра при данной температуре.

3. Определение абсолютной вязкости, которое производится путем измерения силы трения между отдельными частицами жидкости.

Во всех случаях измерения вязкости необходимо строго соблюдать установленную температуру.

Приборы для измерения вязкости называют вискозиметрами.



Для определения относительной вязкости наибольшее распространение получил **вискозиметр Энглера** (рис. 1). Вязкость по этому прибору определяется по времени (число секунд), в течение которого при установленной температуре из сосуда вытекает через имеющееся в дне отверстие определенный объем жидкости.

Вязкость выражают в так называемых градусах Энглера, которые получают делением времени вытекания (в секундах) испытуемой жидкости на время вытекания (в секундах) равного объема воды при 20 °С.

При определении вязкости полимеризованных масел время их истечения часто сравнивают со временем истечения неполимеризованного (сырого) масла.

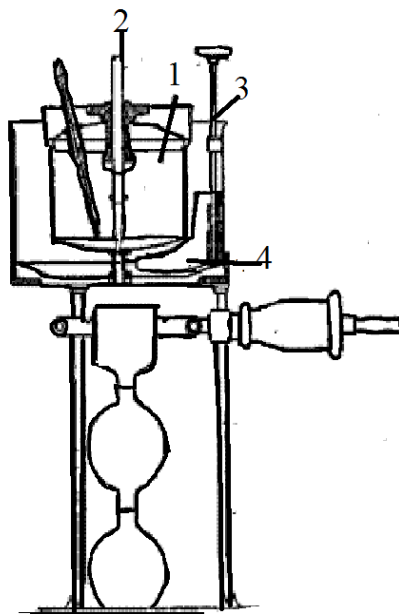


Рис.1. Вискозиметр Энглера: 1—резервуар для масла; 2—деревянный стержень; 3—мешалка; 4—лопасть мешалки

**Шариковый метод.** В обыкновенный мерный цилиндр наливают 100 мл лака или масла и опускают стальной шарик определённого веса и диаметра.

Замечают, сколько секунд падает шарик до дна. Предварительно устанавливают скорость падения такого шарика в стандартном лаке или масле. Обычно испытание проводят при 20 °С.

При очень темных жидкостях, в которых не видно движения шарика, на дно цилиндра наливают 6—10 мл насыщенного раствора поваренной соли и отмечают падение шарика от верхнего уровня до раствора соли.

Определение условной вязкости можно производить вискозиметром (воронка) Форда, воронкой НИИЛК и вискозиметром ВЗ-4.

**Воронка Форда** (рис. 2) состоит из цилиндра с коническим дном, имеющим отверстие, через которое вытекает жидкость. Под этим прибором помещают стеклянный цилиндр с делениями для определения объема вытекающей жидкости.

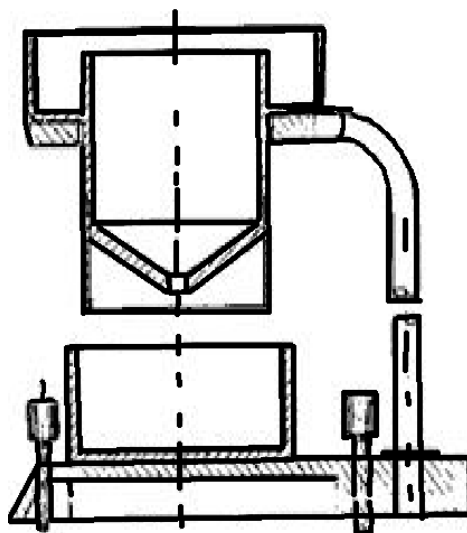


Рис. 2. Воронка Форда

При определении вязкости выпускное отверстие воронки закрывают, а испытуемые лак или масло, подогретые до 20 °С, наливают в цилиндр прибора до заполнения желобка, окружающего верхнюю часть цилиндра (для создания постоянного начального уровня жидкости). Затем отверстие открывают и определяют продолжительность истечения жидкости в секундах.

Вязкость выражают временем истечения (в секундах) 100 мл испытуемой жидкости. Опыт повторяют 2—3 раза и выводят среднее из нескольких определений.

При определении вязкости лаков и масел **воронкой НИИЛК** (рис. 3) лак или другую жидкость, имеющие температуру 20 °С, наливают в воронку до краев. Излишек жидкости при переливании вытекает в шейку 2, при этом высота слоя жидкости в начале опыта всегда постоянна. Открывая краном 3 выпускное отверстие, отмечают время истечения (в секундах) 100 мл жидкости в мерный цилиндр.

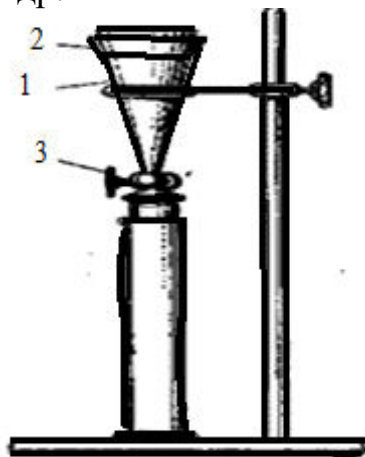


Рис. 3. Воронка НИИЛК:

1—воронка; 2—шейка воронки; 3—кран

Воронка изготавливается из латуни с последующим никелированием или хромированием. Размеры воронки: высота 140 мм, верхний диаметр 63 мм, диаметр отверстия 7 мм.

Определение производят два раза. В случае расхождения показателей больше, чем на одну секунду, определение повторяют в третий раз. Значение вязкости испытуемой жидкости выводят как среднее из данных, полученных при всех определениях.

Для быстрых определений вязкости непосредственно в процессе производства уплотненных масел и лаковых основ пользуются методом «пузырька».

Сущность метода состоит в сравнении скорости движения пузырька воздуха в растворе испытуемой смолы (или масла) со скоростью в жидкости, имеющей (заранее обусловленную) стандартную вязкость. Испытуемый раствор и стандартную жидкость помещают в пробирки одинаковой высоты и одинакового внутреннего диаметра.

Для приготовления раствора испытуемой смолы или масла в фарфоровый стаканчик емкостью 100 мл на технических весах отвешивают навеску смолы или масла около 10 г, к которой по весу прибавляют растворитель. Содержимое стакана тщательно перемешивают.

Для проведения определения в пробирку наливают предварительно приготовленный раствор испытуемой смолы (или масла) и охлаждают до комнатной температуры. После этого в пробирке оставляют такое количество раствора, чтобы между пробкой и поверхностью раствора остался зазор, равный зазору в стандартном образце. Затем пробирку плотно закрывают пробкой. Пробирки с испытуемым раствором и стандартной жидкостью одновременно переворачивают пробками вниз. Пузырьки воздуха в обеих пробирках должны подниматься с одинаковой скоростью. Если пузырек воздуха в испытуемом растворе движется быстрее, чем в стандартной жидкости, то нужно уменьшить количество добавляемого к испытуемой смоле растворителя, если медленнее, то увеличить. Вязкость в этом случае выражается процентным содержанием растворителя в растворе испытуемой смолы. Так, если пузырек воздуха движется с одинаковой скоростью и в стандартной жидкости, и в испытуемом растворе, содержащем 60 % смолы (или масла) и 40 % растворителя, то вязкость такой смолы (или масла) считается равной 40 %.

Определение абсолютной вязкости производится при помощи **вискозиметра Оствальда**. В шарик вискозиметра наливают (выше метки) испытуемую жидкость и вискозиметр погружают в стакан с водой, подогретой до температуры, установленной для измерения вязкости. Затем отмечается время, необходимое для истечения жидкости от верхней до нижней метки, нанесенной под шариком.

### **Порядок выполнения работы**

В лабораториях для определения условной вязкости пользуются вискозиметром ВЗ-4 (рис.4). Лак или другой испытуемый материал доводят до температуры 20 °С, тщательно перемешивают и наливают в

цилиндрический сосуд, переходящий в полый конус, отверстие которого предварительно закрывают пальцем. Лаку дают отстояться для удаления пузырьков воздуха, пену снимают стеклянной палочкой и, отняв палец от отверстия, включают секундомер. Жидкость сливают в приемный сосуд. Когда прекращается непрерывная струя жидкости, секундомер выключают.

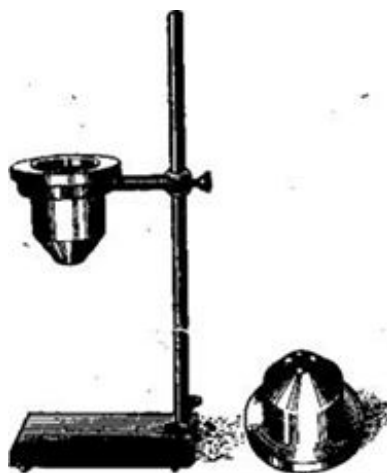


Рис. 4. Вискозиметр ВЗ-4

Время истечения жидкости (в секундах) из вискозиметра ВЗ-4 является условной вязкостью. Определение производят 2—3 раза. Расхождения не должны превышать 5 %. Значение вязкости выводят как среднее из полученных определений. Перед определением и после определения вязкости, вискозиметр промывают соответствующим растворителем и вытирают мягким и сухим материалом.

Вискозиметр изготавливается из дюралюминия или пластмассы.

### **Обработка результатов измерения**

Полученные результаты времени истечения жидкости из вискозиметра ВЗ-4 и относительной вязкости записывают в табл.1.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}, \quad (1)$$

где  $\mu_r$  - относительная вязкость;  $\mu$  - динамическая вязкость, с;  $\mu_0$  - вязкость растворителя ( дистиллированная вода при 4 °С)

Относительная вязкость анализируемых веществ

№п/п	Название анализируемого вещества	Время истечение жидкости из вискозиметра ВЗ-4, с	Относительная вязкость
1	Вода дистиллированная при 4 °С		
2	Гидроксид натрия, 2 н		
3	Серная кислота, 2 н		
4	Машинное масло 1		
5	Машинное масло 2		
6	Машинное масло HELIX		
7	Подсолнечное масло		

## Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПО МЕТОДУ СТОКСА

#### Цель работы

Экспериментальное определение коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса.

#### Теоретические основы работы

Внутреннее трение (вязкость) - свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление при перемещении одной их части относительно другой. Рассмотрим схему ламинарного (слоистого) течения слоя жидкости, заключенного между параллельными пластинами (рис. 5). Пусть нижняя пластина неподвижна, верхняя движется горизонтально вправо со скоростью  $U_0$ . Тогда в жидкости возникнет течение со скоростью  $U = U(z)$ .

Закон вязкого трения был установлен Ньютоном. Он имеет вид

$$F = \eta \frac{dU}{dz} S, \quad (2)$$

где  $F$  - касательная сила, вызывающая сдвиг слоев жидкости друг относительно друга; коэффициент пропорциональности  $\eta$  - коэффициент внутреннего трения жидкости: иногда его называют вязкостью жидкости. В СИ размерность  $[\eta]=\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $S$  - площадь слоя, по которому происходит сдвиг;  $dU/dZ$ - градиент скорости течения жидкости (быстрота изменения скорости от слоя к слою).

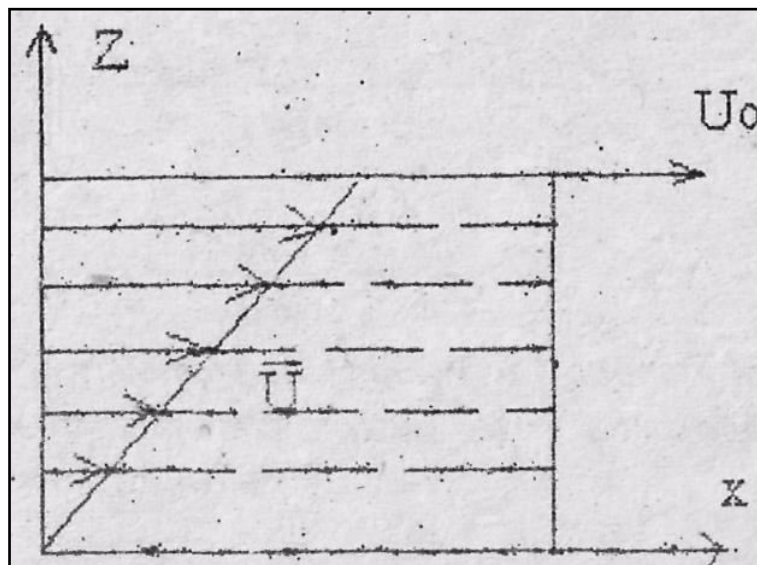


Рис.5. Профиль скорости движения жидкости между двумя параллельными пластинами, одна из которых движется с постоянной скоростью  $U_a$ , а другая неподвижна

В результате внутреннего трения происходит ускорение медленно движущихся и замедление быстро движущихся соседних слоев жидкости.

В условиях установившегося ламинарного течения при постоянной температуре  $T$  коэффициент внутреннего трения жидкости практически не зависит от градиента скорости.

Вязкость жидкостей (в отличие от вязкости газов) обусловлена в основном межмолекулярным взаимодействием, ограничивающим подвижность молекул. В настоящее время еще не существует адекватной теории вязкости жидкости, поэтому коэффициенты внутреннего трения определяются экспериментально.

Одним из методов экспериментального определения коэффициента внутреннего трения (вязкости) жидкости является метод Стокса. При движении тела в жидкости на тело действует сила сопротивления. Стокс вывел формулу для силы сопротивления, действующей на шар, движущийся в жидкости поступательно и с постоянной скоростью (вывод этой формулы требует знания специальных функций, поэтому мы его здесь не приводим). Формула Стокса имеет вид

$$F = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot U , \quad (3)$$

где  $F$  - сила сопротивления жидкости при движении шара;  $\eta$ - коэффициент внутреннего трения;  $r$ - радиус шара;  $U$  - скорость поступательного движение шара.

Отметим, что формула Стокса справедлива лишь при условии, что при движении шара не возникает турбулентности (завихрение жидкости). Движение прилегающих к шару слоев жидкости должно быть ламинарным. Это условие выполняется при

$$R_e = \frac{\rho U r}{\eta} \leq 1000, \quad (4)$$

где  $R_e$  - число Рейнольдса - один из так называемых критериев подобия;  $\rho$  -плотность жидкости. Отметим, что критерии подобия дают возможность подбирать оптимальные условия эксперимента; они широко используются в гидродинамике, теории теплопередачи и др. Критерии подобия дают правила пересчета с модели на натурную конструкцию для явлений, в которых необходимо учитывать большое количество факторов.

### **Порядок выполнения работы**

Экспериментальная установка, используемая для определения коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса, показана на рис. 6.

Это стеклянный цилиндрический сосуд 1, наполненный вязкой жидкостью; уровень поверхности жидкости обозначен цифрой 2. На



боковую поверхность сосуда надеты два тонких проволочных кольца 3 и 4. Расстояние между кольцами равно  $L$ .

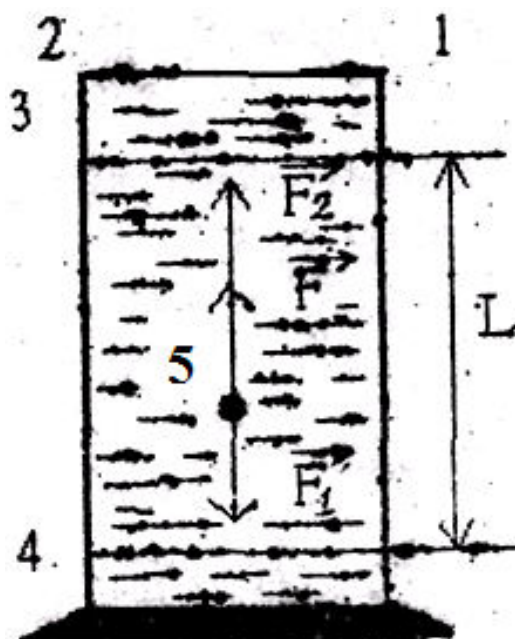


Рис. 6. Схема экспериментальной установки

В сосуд опускают небольшой шарик (по возможности ближе к оси симметрии), плотность которого  $\rho_1$ , больше плотности жидкости  $\rho_2$ . Диаметр шарика предварительно измеряют с помощью микрометра. Расстояние между поверхностью жидкости 2 и верхним кольцом 3 подбирают так, чтобы на этом участке скорость шарика стабилизировалась; при этом на участке 3-4 движение шарика будет происходить с постоянной скоростью.

Рассмотрим силы, действующие на шарик 5, движущийся с постоянной скоростью  $U_0$  в вязкой жидкости: сила тяжести  $F_1 = \rho_1 g V$  ( $V$ - объем шарика) направлена вниз, сила Архимеда  $F_2 = \rho_2 g V$  и сила Стокса  $F$  (рис.6) направлены вверх.

Условие постоянства скорости шарика  $U_0$  дает (в проекции на вертикальную ось)

$$F_2 - F_1 - F = 0. \quad (5)$$

Подставляя в (5) выражения для сил  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F$ , а также учитывая, что объем шара

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi d^3, \quad (6)$$

где  $d$  - диаметр шара, получим выражение для коэффициента внутреннего трения жидкости:

$$\eta = \frac{(p_1 - p_2)g \cdot d^2}{18V_0}. \quad (7)$$

Установившуюся скорость движения шарика на участке 3-4 (рис.6) найдем по формуле

$$V_0 = \frac{L}{\tau}, \quad (8)$$

где  $\tau$  - время движения шарика между кольцами 3 и 4. Из (7) и (8) получим формулу для определения коэффициента внутреннего трения жидкости

$$\eta = \frac{(p_1 - p_2)g \cdot d^2 \tau}{18L}. \quad (9)$$

1. Записать данные спецификации измерительных приборов.
2. Определить температуру  $T_k$  воздуха в лаборатории (жидкость имеет температуру, равную температуре  $T_k$ ).
3. Измерить диаметр шарика  $d$  с помощью микрометра. Измерения проводить не менее трех раз; шарик при этом надо поворачивать (его форма может отличаться от сферической). Если отличия значительны, такой шарик следует забраковать. Результаты измерений внести в табл. 2. Рассчитать среднее значение диаметра данного шарика  $d_{ср}$ . Результаты внести в табл. 2.

*Примечание.* При получении шариков постараться подобрать шарики одинаковых размеров.

4. Аккуратно опустить шарик в сосуд (как можно ближе к оси симметрии).

5. Секундомером измерить время  $\tau$  прохождения шариком расстояния  $L$  между кольцами 3 и 4. Следить, чтобы в моменты включения и выключения секундомера (в моменты прохождения шариком колец 3 и 4 соответственно) глаз наблюдателя располагался на уровне соответствующего кольца. Результат измерения  $\tau$  внести в табл. 2.

6. Пункты 3-5 повторить для трех-пяти шариков.

7. Провести измерения в другой жидкости, повторив пункты 3-6.

### Обработка результатов измерения

Плотность материала шариков  $\rho_1 =$   $\Delta \rho_1 =$

плотность жидкости  $\rho_2 =$   $\Delta \rho_2 =$

$d =$   $\Delta d =$

$L =$   $\Delta L =$

Температура жидкости  $T_{ж} = T_{к} =$  ;  $\Delta T =$

Таблица 2

Определение коэффициента внутреннего трения жидкости

№ опыта	Измерение диаметра шарика				$\tau, \text{с}$
	$d_1, \text{мм}$	$d_2, \text{мм}$	$d_3, \text{мм}$	$d_{\text{ср}}, \text{мм}$	

## Лабораторная работа № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ

#### Цели работы

Знакомство с методами определения плотности масел. Приобретение навыков самостоятельной оценки качества масел.

#### Теоретические основы работы

Плотность, т. е. масса единицы объема вещества, является одной из наиболее важных его физических характеристик.

В соответствии с международной системой единиц (СИ) плотность измеряется в килограммах на 1 метр кубический ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), по государственной фармакопее - в граммах на 1  $\text{см}^3$  ( $\text{г}/\text{см}^3$ ). В ряде случаев удобнее

пользоваться относительной плотностью, которая представляет собой отношение плотности данного вещества к плотности дистиллированной воды при 4° С.

Относительная плотность является безразмерной величиной, ее принято обозначать буквой  $d$ , а плотность - буквой  $\rho$ . Поскольку плотность зависит от температуры, то необходимо указывать условия, при которых проводилось измерение. Так, запись  $d$  означает, что относительная плотность определялась для вещества при 1,5 °С по отношению к плотности воды при 4° С. При пользовании справочными данными необходимо обращать внимание на температуру, к которой они относятся.

В практике проведения технического анализа на химико-фармацевтических заводах обычно определяют плотность жидкостей с помощью пикнометра или ареометра.

#### **Определение плотности жидкости при помощи пикнометра**

Чистый сухой пикнометр (рис. 7) взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0002 г. Затем заполняют его дистиллированной водой немного выше метки, закрывают пробкой и помещают в термостат. После 20-минутной выдержки в термостате при температуре  $20 \pm 0,1$  °С уровень воды в пикнометре быстро доводят до метки, отбирая излишек воды пипеткой, капилляром или свернутой полоской чистой неволокнистой фильтровальной бумаги. Пикнометр снова закрывают пробкой, термостатируют еще 10 мин, проверяют соответствие уровня жидкости метке, протирают снаружи досуха чистой мягкой тканью или фильтровальной бумагой и оставляют на 10 мин за стеклом коробки аналитических весов, а затем снова взвешивают. После этого пикнометр освобождают от воды, споласкивают последовательно спиртом и эфиром, затем удаляют остатки эфира продуванием воздуха, заполняют пикнометр испытуемой жидкостью и проводят те же операции, что и с дистиллированной водой.

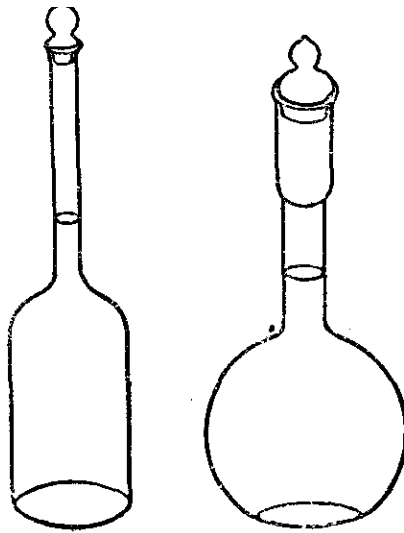


Рис. 7. Пикнометр

Относительную плотность жидкости вычисляют по формуле

$$d_4^{20} = \frac{(m_2 - m) \cdot 0,99703}{m_1 - m} + 0,0012 \quad , \quad (10)$$

где  $d$  - относительная плотность испытуемой жидкости;  $m$  - масса пустого пикнометра, г;  $m_1$  - масса пикнометра с дистиллированной водой, г;  $m_2$  - масса пикнометра с испытуемой жидкостью, г; 0,99703 - значение относительной плотности воды при 20 °С с учетом плотности воздуха; 0,0012 - плотность воздуха при 20 °С и давлении 760 мм рт. ст.

Значение 0,0012 надо прибавить к рассчитанной плотности, так как пикнометр перед заполнением жидкостью содержал воздух.

Следует обращать внимание на то, чтобы при вытирании пикнометра на его стенках не оставались волокна фильтровальной бумаги или ткани. Нельзя сушить пикнометр путем нагревания. Применение пикнометра позволяет определять относительную плотность с точностью до 0,001.

Плотность жидкости в граммах на 1 мл при температуре 20 °С рассчитывают, исходя из массы 1 мл анализируемого вещества, и прибавляют поправку на взвешивание в воздухе в соответствии с табл. 3.

Массу 1 мл жидкости определяют делением выраженной в граммах массы в воздухе заполняющей пикнометр жидкости при 20 °С на объем пикнометра, выраженный в миллилитрах. Объем пикнометра устанавливают

аналогично описанному выше, исходя из того, что 1 л воды при 20 °С имеет массу 997,18 г.

Таблица 3

Поправка анализируемого вещества на воздухе

Масса 1 мл, г	Поправка
0,60-1,03	0,0011
1,04-1,72	0,0010
1,73-2,00	0,0009

**Определение плотности жидкости ареометром**

Плотность жидкости может быть приближенно (с точностью до 0,01) определена с помощью ареометра. Этот метод находит широкое практическое применение при определении относительной плотности серной, азотной и соляной кислот, этилового спирта и др. Достоинствами этого метода являются быстрота определения и возможность использования для анализа вязких жидкостей. К недостаткам метода, помимо невысокой точности, следует отнести необходимость использования относительно большого количества анализируемой жидкости.

**Порядок выполнения работы**

Ареометр (рис. 8) представляет собой стеклянный тонкостенный цилиндрический сосуд, расширяющийся внизу и имеющий на конце стеклянный резервуар, заполненный дробью, реже ртутью. В верхней части ареометра имеется шкала с делениями, соответствующими относительной плотности жидкости, и указанием температуры, при которой следует производить определение. Имеются ареометры для жидкостей легче и тяжелее воды, для серной кислоты, едких щелочей, а также ряд специальных ареометров для измерения плотности спирта (спиртометр), молока (лактометр) и др. Для повышения точности измерения промышленность

выпускает наборы ареометров, шкалы которых охватывают определенный диапазон плотностей.



Рис. 8. Ареометр

Как правило, градуировку ареометров производят при 20 °С и относят к плотности воды при 4 °С, поэтому показания шкалы дают величину  $d$ . Если в соответствии с указаниями стандарта температура анализируемой жидкости отличается от температуры, указанной на шкале ареометра, то следует внести поправку на разницу температур.

Испытуемую жидкость помещают в цилиндр емкостью не менее 0,5 л и при температуре жидкости 20 °С осторожно опускают в нее чистый сухой ареометр. Погружать ареометр в жидкость следует осторожно, не выпуская его из рук до тех пор, пока не станет очевидным, что он плавает. При этом ареометр должен находиться в центре цилиндра и ни в коем случае не касаться стенок и дна сосуда. Отсчет производят по делениям шкалы ареометра через 3-4 мин после погружения по нижнему мениску жидкости. В случае определения плотности темноокрашенных жидкостей отсчет производят по верхнему мениску. После определения ареометр моют, вытирают и убирают в специальный футляр. Результаты измерения внести в табл.4.

## Обработка результатов измерения

Таблица 4

### Определение относительной плотности жидкости

№ п/п	Название анализируемого вещества	Плотность по ареометру	Относительная плотность
1	Вода дист. при 4 °С		
2	Гидроксид натрия, 2 н		
3	Серная кислота, 2 н		
4	Машинное масло 1		
5	Машинное масло 2		
6	Машинное масло HELIX		
7	Подсолнечное масло		

## Лабораторная работа № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И КОКСУЕМОСТИ МАСЕЛ И ДРУГИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

#### Цель работы

Определение коксового числа для оценки работоспособности масел.

#### Теоретические основы работы

Абсолютной плотностью вещества называют количество массы, содержащейся в единице объема. В системе СИ плотность выражается в  $\text{кг}/\text{м}^3$ . За единицу плотности принимается масса  $1 \text{ м}^3$  дистиллированной воды при температуре 4 °С.

Относительной плотностью вещества называется отношение его к массе чистой воды при 4 °С, взятой в том же объеме, Численные значения абсолютной и относительной плотности совпадают, но относительная плотность - величина безразмерная.

Экспериментально установлено, что нефтепродукты и вода имеют неодинаковые коэффициенты расширения. Поэтому необходимо при определении плотности указывать температуру воды, нефтепродукта, при которой проводилось определение. В России плотность нефти и нефтепродуктов определяют при 20 °С и относят к плотности воды при 4 °С. Плотность принято обозначать через  $\rho_4^{20}$ . На практике очень часто приходится определять плотность при температуре, отличающейся от 20 °С.



Чтобы получить сравнимые результаты, необходимо проводить пересчет плотности в  $\rho_4^{20}$  по формуле

$$\rho_4^{20} = \rho_4^t + \gamma(t - 20), \quad (11)$$

где  $\rho_4^t$  - плотность при температуре испытания,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\gamma$  - средняя температурная поправка плотности на  $1^\circ\text{C}$ ;  $t$  - температура, при которой проводится опыт,  $^\circ\text{C}$ .

Формула (11) была предложена Д.И.Менделеевым. Она показывает, что плотность нефти и нефтепродуктов уменьшается с повышением температуры и увеличивается с ее понижением.

Плотность является нормируемым показателем для некоторых нефтепродуктов. К ним относятся топлива для реактивных двигателей, топливо котельное, топливо для газотурбинных установок, некоторые марки мазута, бензины-растворители, отдельные марки дизельных масел и т.д.

Плотность нефтепродуктов экспериментально определяют по известной формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (12)$$

где по разности масс сухого пикнометра (заданного объёма, например,  $5 \text{ см}^3$ ) и с исследуемой жидкостью (взвешенного на аналитических весах с точностью  $0,0001 \text{ г}$ ) определяют массу навески (нефтепродукта) с дальнейшим вычислением плотности.

Коксуемость определяется количеством кокса, образующегося в стандартных условиях из нефтепродукта в результате термического воздействия без доступа воздуха. Содержание углерода в коксе достигает  $96\%$ , в нём концентрируются металлы и сера.

Кокс – продукт низкофазных химических реакций компонентов нефтепродуктов. Наибольшей коксообразующей способностью обладают ароматические соединения.

Коксуемость – важный параметр, характеризующий нефть и нефтепродукты. От коксуемости топлив зависит такое их качество, как склонность к образованию отложений.

### Порядок выполнения работы

Сущность определения заключается в нагревании пробы до высокой температуры без доступа воздуха, т.е. в проведении своеобразной сухой перегонки. Масло при этом испаряется, в тигле прибора остаются только коксообразный остаток - продукт высокотемпературной конденсации и зола.

Чем больше в масле содержится смолисто-асфальтовых веществ и высокомолекулярных полициклических углеводородов с ненасыщенными кольцами, тем выход кокса будет больше.

По этому методу фарфоровый тигель с навеской нефтепродукта помещают в два стальных тигля с крышками. Вся система тиглей нагревается электрической муфельной печью (рис.9).

Фарфоровый тигель прокаливают до постоянной массы. В него помещают 10 г испытуемого нефтепродукта с точностью до 0,01 г. Затем тигель с навеской помещают со стальными тиглями в муфель и нагревают. Пары и газы выходят из верхней трубы колпака. После охлаждения, тигель взвешивают.

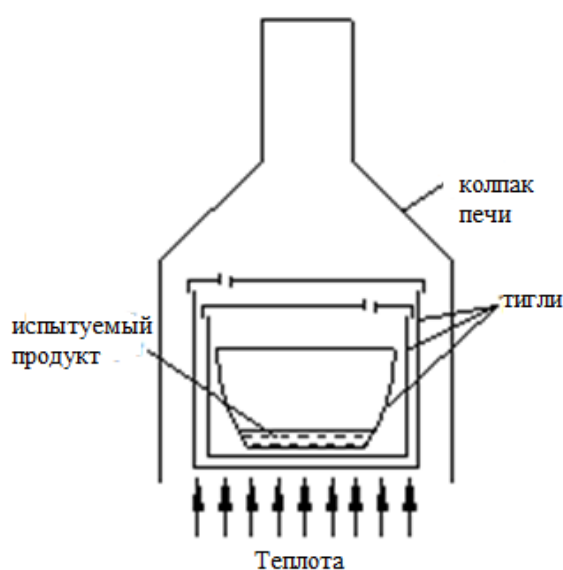


Рис. 9. Схема устройства для определения коксуемости

## Обработка результатов измерения

Коксуемость испытуемого продукта

$$X = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} 100 , \quad (13)$$

где  $\varphi_1$  - масса кокса, г;  $\varphi_2$  - навеска испытуемого нефтепродукта, г.

Вычисления производят с точностью до 0,1 %. Расхождение между двумя параллельными определениями для масел не должно превышать 10 % от меньшего результата.

## Лабораторная работа № 5

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАСЛА ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ

#### Цели работы

1. Знакомство с методами определения основных показателей качества масел.
2. Приобретение навыков по оценке качества работавших масел и определению возможности их дальнейшего использования.
3. Ознакомление с требованиями ГОСТов к качеству масел и значениями показателей, на основании которых масла подлежат замене.

#### Теоретические основы работы

Надежная работа деталей двигателя и машины в целом обеспечивается применением качественных смазочных материалов. Основная функция, которую выполняют моторные масла, – это снижение трения и износа трущихся деталей двигателя за счет создания на их поверхностях прочной масляной пленки. Одновременно к моторным маслам предъявляются следующие требования:

- бесперебойное поступление к трущимся деталям при любых режимах работы и температурных условиях;
- эффективный отвод тепла от трущихся деталей;
- удаление из-за трения продуктов износа и других посторонних веществ;

- надежная защита рабочих поверхностей деталей двигателя от коррозионного воздействия продуктов окисления масла, продуктов сгорания топлива, а также от атмосферной коррозии;
- уплотнение зазоров в сопряжениях работающего двигателя (в первую очередь, деталей цилиндропоршневой группы);
- высокая стабильность (минимальное изменение своих свойств в процессе применения и хранения);
- быть экономичным, т.е. обеспечивать минимальный расход масла в двигателе и иметь большой срок службы до замены.

Выполнение указанных функций моторных масел обеспечивается различными показателями их качества, из которых основными являются вязкость, содержание механических примесей и воды, диспергирующие (моющие) свойства, содержание водорастворимых кислот и щелочей, температура вспышки в открытом тигле. При эксплуатации моторных масел именно эти показатели изменяются наиболее интенсивно. Их периодический контроль позволяет повысить эксплуатационную надежность двигателей внутреннего сгорания.

Заводы-изготовители назначают усредненную периодичность замены масел без учета их реального состояния. Такая система технического обслуживания не учитывает изменения свойств масел в процессе эксплуатации. При этом часто заменяются масла, не потерявшие своего качества. В других случаях, наоборот, техника работает на маслах, утративших свои физико-химические свойства. Поэтому организация периодического контроля за состоянием масла позволяет производить его замену по фактическому состоянию, а также своевременно обнаружить неисправности в двигателе.

Контроль качества свежих масел осуществляется на основе показателей, регламентированных ГОСТами. Оценка свойств работавших масел производится на основе сравнения с установленными браковочными значениями.

Для определения показателей качества работающего масла обычно отбирают его пробу в количестве 200 – 260 мл и исследуют ее в лабораторных условиях. Наряду со стандартизованными методиками все большее распространение находят экспресс - методы оценки качества масел. Не требуя больших затрат времени и сложного оборудования, экспресс-анализы с достаточной точностью оценивают пригодность масла к дальнейшей эксплуатации.

Настоящее пособие предназначено для ознакомления с основными, наиболее доступными лабораторными методами оценки качества масел и дают студентам практические навыки для дальнейшей работы на производстве.

### **Определение содержания воды**

Присутствие воды в маслах объясняется рядом причин: проникновением в картер из системы охлаждения вследствие нарушения ее герметичности; конденсацией паров из отработавших газов, прорывающихся из камеры сгорания в картер двигателя; конденсацией влаги из атмосферного воздуха при хранении и транспортировке.

Наличие воды в маслах во время работы двигателя вызывает образование пены и эмульсии, заполняющих масляные каналы и ухудшающих условия смазки трущихся поверхностей. Кроме того, присутствие воды приводит к образованию в масле агрессивных кислот, вызывающих коррозию смазываемых деталей. При попадании воды может значительно снижаться количество присадок в масле, которые выпадают в осадок, образуя так называемый низкотемпературный шлам. Особенно недопустимо присутствие воды в масле в зимнее время, так как вода, отстаиваясь внизу, при замерзании может вызвать поломку масляного насоса.

В соответствии с ГОСТами на свежие масла содержание воды в них не допускается, лишь в отдельных марках масел допускается присутствие следов воды (менее 0,025 %).

Наличие воды в масле можно определить несколькими способами.

### **Порядок выполнения работы**

Присутствие в масле воды обнаруживают по отстоявшемуся слою воды в склянке с пробой или мутному, непрозрачному виду масла. Капля масла, содержащего воду, при нанесении на стекло в проходящем свете мутная.

#### ***Оценка обводненности масла методом нагрева (проба на потрескивание)***

Небольшое количество масла наливают на дно пробирки и нагревают на слабом огне. При наличии влаги слышно потрескивание, масло пенится и на холодной части пробирки оседают капельки воды.

Если верхняя часть пробирки помутнела, а потрескивания нет, значит воды в масле незначительное количество (следы).

#### ***Оценка обводненности масла по характеру горения фильтровальной бумаги, пропитанной работавшим маслом***

Определение наличия воды в работавшем масле производят в следующем порядке:

- тщательно перемешивают пробу масла;
- берут листок фильтровальной бумаги, пропитывают его работавшим маслом и поджигают;
- дают оценку характеру горения факела;
- по табл. 5 определяют степень обводнения масла:

Таблица 5

Определение обводненности масла

<b>Характер горения факела</b>	<b>Обводненность масла, %</b>
Слабое шипение	Менее 0,5
Потрескивание, отдельные фейерверки	0,5-1,0
Треск, сильный фейерверк	1,5 и более

#### **Определение механических примесей в рабочих маслах**

При работе двигателя в масле накапливаются различные примеси, которые можно разделить на две группы: органические (попадающие в масло из камеры сгорания продукты неполного сгорания топлива,

соединения серы и свинца, продукты термического разложения, окисления и полимеризации масла) и неорганические (пыль, частицы износа деталей, продукты срабатывания присадок). Таким образом, в картере работающего двигателя формируется сложная смесь исходного масла с самыми разнообразными продуктами его старения, от которых полностью очистить масло (фильтрацией) не удастся и которые увеличивают износ деталей, засоряют маслопроводы и масло-фильтр.

### **Порядок выполнения работы**

#### ***Оценка загрязненности масла по внешним признакам***

Наличие в масле механических примесей легко обнаружить по осадку на дне склянки с пробой масла или по следу на стекле. Для этого пробу масла тщательно перемешивают и 1 – 2 капли наносят пипеткой на прозрачное, чистое стекло. Стекло наклоняют и наблюдают след растекающегося масла. При загрязненном масле на стекле обнаруживаются отдельные точки механических примесей.

#### ***Оценка загрязненности методом капельной пробы***

Сущность метода заключается в нанесении капли работавшего масла на фильтровальную бумагу и сравнении степени почернения полученного после сушки пятна с эталонной шкалой.

Выполнение анализа:

- пробу масла тщательно перемешивают;
- каплю масла чистой пипеткой наносят на центр фильтра;
- фильтр с нанесенной каплей масла высушивают 15 мин при температуре 100 °С либо 2 – 4 ч при комнатной температуре;
- после сушки хроматограмма масляного пятна оценивается по табл. 6 (светлый ореол вокруг темного пятна во внимание не брать):

Таблица 6

Хроматограмма масляного пятна

Внешний вид пятна	Содержание механических примесей, %	Принимаемое решение
Светлое желтоватое пятно	0,00 – 0,01	Работоспособно

Внешний вид пятна	Содержание механических примесей, %	Принимаемое решение
Желтоватое пятно с резко ограниченной более темной окантовкой	0,01– 0,05	Работоспособно
Серое или светло-коричневое пятно, ограниченное более темной окантовкой	0,05 – 0,10	Работоспособно
Темно-серое или темно-коричневое пятно	0,10 – 1,0	Работоспособно
Сплошное черное пятно	Более 1,0	Неработоспособно

### Определение моющих свойств масла

Под моющими (детергентно-диспергирующими) свойствами понимается способность масла препятствовать отложению продуктов его окисления и полимеризации на поверхностях горячих деталей. Базовые масла практически не обладают этими свойствами. Для придания маслам соответствующих свойств в них вводят моющие присадки. Механизм действия присадок следующий: торможение процессов окисления (нейтрализация), препятствие слипанию углеродистых частиц (что ограничивает их дальнейший рост), удержание частиц в состоянии устойчивой суспензии. Следует отметить, что термин "моющие" условен, так как именно присадки препятствуют прилипанию продуктов окисления тела к поверхностям нагретых деталей, но не оказывают "моющего" действия в прямом смысле этого слова – не устраняют уже накопившиеся отложения.

Для предотвращения образования отложений необходимо не допускать работу двигателя в напряженном тепловом режиме, своевременно менять масляные фильтры, тщательно промывать картер и всю систему смазки перед заправкой свежим маслом.



Для оценки моющих свойств масла можно воспользоваться методом капельной пробы.

При нанесении капли работавшего масла на фильтровальную бумагу образуется пятно с темным ядром в центре, вокруг которого располагается более светлый поясок (рис.10). В ядре собираются углеродистые и другие не растворимые в масле частицы. Масло, очищенное от них, расплывается дальше. Наличие в масле растворимых продуктов окисления изменяет цвет масляного пояска от лимонного до темно-коричневого.

Таким образом, по масляному пятну можно судить не только о степени загрязнения масла (по цвету ядра), но и о степени окисления масла (по цвету масляного пояска), о моющих свойствах масла (по соотношению диаметров  $d$  – ядра и  $D$  – диффузии).

#### Порядок выполнения работы

Пробу масла тщательно перемешивают, затем каплю масла чистой пипеткой наносят на центр фильтра. Фильтр с нанесенной каплей масла высушивают 15 мин при температуре 100 °С либо 2 – 4 ч при комнатной температуре.

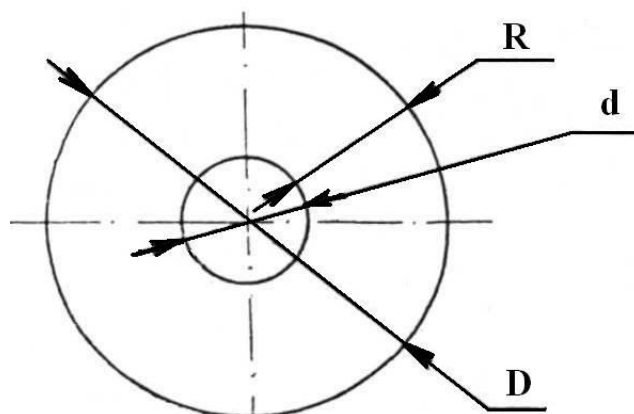


Рис. 10. Хроматограмма работавшего масла:  $d$  – диаметр ядра;

$D$  – диаметр диффузии масла;  $R$  – масляный поясок

Диспергирующие свойства масла (ДС) определяются по формуле

$$ДС = 1 - \frac{d_2}{D_2}. \quad (14)$$

Оценка степени окисления и моющих свойств работавших масел осуществляется в соответствии с табл. 7.

Таблица 7

Степень окисления и моющие свойства работавших масел	
Степень окисления масла	
Цвет масляного пояска	Принимаемое решение
Белый или светло-желтый	Работоспособно
Светло-коричневый	Работоспособно
Коричневый	Работоспособно
Темно-коричневый	Не работоспособно
Диспергирующие свойства масла	
ДС > 0,3	Работоспособно

### Обработка результатов измерения

После выполнения анализа исследуемых образцов необходимо оформить отчет по лабораторной работе, табл. 8.

Таблица 8

### Оценка качества масел по внешним признакам

Критерии оценивания	Марка масел				
	машинное масло	подсолнечное масло	моторное масло	машинное масло HELIX	WD- 40
Определения содержания воды: -оценка обводненности методом нагрева - оценка обводненности по характеру горения факела					
Определение механических примесей: - по внешним признакам - методом капельной пробы					
Определение моющих свойств масел					
Диспергирующие свойства					

# Лабораторная работа № 6

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ

### МАСЛА В ОТКРЫТОМ ТИГЛЕ

#### Цель работы

Изучение физико-механических свойств смазочных материалов.

#### Теоретические основы работы

Физико-механические свойства масел характеризуются следующими свойствами.

**Кинематическая вязкость** ( $\nu$ ) равна отношению динамической вязкости к плотности жидкости:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \text{ м}^2/\text{с}. \quad (15)$$

**Удельная вязкость** (У.В.) равна отношению динамической вязкости жидкости динамической вязкости воды при 20 °С:

$$\text{У.В.} = \frac{\mu}{\mu_{\text{В}}} \quad (16)$$

**Условная вязкость** ( $\text{У.В.}_t$ ) – величина, выраженная отношением времени истечения 200 мл исследуемой жидкости при данной температуре из вискозиметра Энглера ко времени истечения из этого вискозиметра 200 мл дистиллированной воды при 20 °С. Выражается условными градусами при данной температуре:

$$\text{У.В.}_t = \frac{T_t}{T_{\text{H}_2\text{O}}}, \quad (17)$$

где  $T_t$  – время истечения масла при температуре  $t$ , мин;

$T_{\text{H}_2\text{O}}$  – время истечения дистиллированной воды при  $t = 20$  °С.

Пересчет условной вязкости в динамическую производят по формуле

$$\mu = \rho \cdot \left( 0,0731 \cdot \text{У.В.}_t - \frac{0,0631}{\text{У.В.}_t} \right) \cdot 10^{-4}, \text{ Па} \cdot \text{с}. \quad (18)$$

Пересчет условной вязкости в кинематическую производят по формуле

$$\nu = \left( 0,0731 \cdot \text{У.В.}_t - \frac{0,0631}{\text{У.В.}_t} \right) \cdot 10^{-4}, \text{ м}^2/\text{с}. \quad (19)$$

Температура вспышки масла – температура, при которой пары масла образуют с воздухом самовоспламеняющуюся смесь. С увеличением вязкости температура вспышки увеличивается.

Температура застывания – температура, при которой масло теряет свою подвижность в стандартных условиях. Температура застывания определяет способность масла сохранять свои функциональные свойства при низких температурах эксплуатации машин.

Температурная стойкость масла (при трении) – свойства масла обеспечивать при повышении температуры низкий и стабильный коэффициент трения в условиях граничной смазки.

Липкость – способность масла закрепляться на поверхности смазываемых деталей за счет физико-химических сил взаимодействия, что уменьшает их разбрызгиваемость и растекаемость. Липкость препятствует выдавливанию масла из зазора между трущимися поверхностями. Масло с большим содержанием смол имеет большую липкость. Однако содержание смол в масле нежелательно в связи с тем, что они могут отложиться на фильтрах и в масло - проводах, что ухудшает их работу.

### **Порядок выполнения работы**

Для проведения опыта применяется следующая аппаратура:

- 1) аппарат модели ЛГВО (рис. 11) с нагревателем и термометром;
- 2) щит из листовой кровельной стали;
- 3) секундомер;
- 4) барометр.

Аппарат ЛГВО состоит из:

- металлического или фарфорового тигля высотой 46 мм и диаметром 58 мм;
- песчаной бани, в качестве которой используется металлический или фарфоровый тигель большего диаметра или глубокая металлическая чашка;
- термометра типа ТН-2 (ГОСТ 400-80);
- зажигательного приспособления.

Прибор ЛГВО должен удовлетворять следующим требованиям:  
расхождение между двумя параллельными определениями температуры вспышки не должно превышать следующих величин

температура вспышки до 150 °С - 4 °С;

температура вспышки свыше 150 °С – 6 °С.

Расхождение между двумя параллельными определениями температуры воспламенения не должно превышать 4÷6 °С.

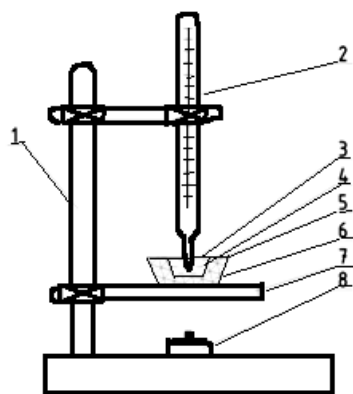


Рис 11. Прибор для определения вспышки масла: 1 - штатив; 2 - термометр; 3- спичка; 4 - исследуемое масло; 5 - тигель; 6 - песчаная баня; 7 - подставка с асбестовой прокладкой; 8 - спиртовая горелка

Габаритные размеры, мм: длина – 270; ширина -150; высота – 625; вес - не более 4 кг. Щит выполняется из листовой кровельной стали (или листового асбеста), окрашивается с внутренней стороны черной краской для защиты аппаратуры от воздуха. Высота листа 550-650 мм. Секундомер с минутной и секундной стрелками. Барометр метеорологический в обычном исполнении.

Испытуемый нефтепродукт наливают во внутренний тигель так, чтобы уровень жидкости не доходил до края тигля на 12 мм для нефтепродуктов со вспышкой до 210 °С включительно и на 18 мм для нефтепродуктов с температурой вспышки выше 210 °С.

Правильный налив нефтепродукта проверяют шаблоном. При налипании не допускается разбрызгивания нефтепродукта, смачивания стенок внутреннего тигля выше уровня жидкости.

Тигли устанавливают в кольцо штатива, который ставят в таком месте комнаты, где отсутствует заметное движение воздуха и где свет настолько заметен, что вспышка хорошо видна.

Во внутренний тигель с нефтепродуктом устанавливают термометр в строго вертикальном положении, чтобы ртутный шарик находился в центре тигля приблизительно на одинаковом расстоянии от дна тигля и от уровня нефтепродукта и закрепляют термометр в таком положении в лапке штатива. Собранный аппарат окружают щитом.

Наружный тигель аппарата нагревают со скоростью  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ .

За  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до ожидаемой температуры вспышки нагрев ограничивают скоростью  $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ .

За  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до ожидаемой температуры вспышки проводят медленно по краю тигля на расстоянии 10-14 мм от поверхности испытуемого нефтепродукта и параллельно этой поверхности пламенем зажигательного приспособления. Длина пламени должна быть 3-4 мм. Время продвижения пламени от одной стороны тигля до другой - 2-3 с. Такое испытание повторяют через  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  подъема температуры.

За температуру вспышки принимают температуру, показываемую термометром при появлении первого сильного пламени над частью или над всей поверхностью испытуемого нефтепродукта.

Истинную вспышку не следует смешивать с отблеском от пламени зажигательного приспособления.

В случае появления первой вспышки она должна быть подтверждена последующей вспышкой через  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

После установления температуры вспышки испытуемого нефтепродукта, если требуется определить температуру воспламенения, продолжают нагревание наружного тигля так, чтобы нефтепродукт

нагревался со скоростью 4 °С/мин и повторяют испытание пламенем зажигательного приспособления через каждые 2 °С подъема температуры нефтепродукта.

За температуру воспламенения принимают температуру, показываемую термометром в тот момент, в который испытуемый нефтепродукт при поднесении к нему пламени зажигательного приспособления загорается и продолжает гореть не менее 5 с.

В тигель 5 наливают исследуемое масло, которое не должно доходить до края тигля на 10-12 мм (рис.11). Тигель устанавливают в песчаную баню 6, которая размещается на подставке с асбестовой прокладкой 7, закрепленной на лабораторном штативе 1. В середину тигля с исследуемым маслом помещают термометр 2, который должен иметь цену деления 1 °С и допускать нагревание до 300 °С. Дно песчаной бани нагревается спиртовой горелкой 8. Скорость нагрева после 150 °С не должна превышать 3-4 °С/мин.

Как только над поверхностью тигля 5 появляются пары, подносят зажженную спичку (горелку), которая должна располагаться над тиглем. При вспышке масла появляется голубоватое пламя. В этом случае записывают температуру нагрева масла. Для определения температуры воспламенения песчаную баню продолжают нагревать. Если зажженное пламя над маслом не гаснет в течение 4-5 с, это говорит о том, что температура нагретого масла в тигле близка к температуре воспламенения. Её измеряют термометром 2. Зная температуру вспышки масла, определяют его марку по табл. 9.

Таблица 9

Краткие физико-химические свойства наиболее распространенных минеральных масел

Марка (назначение) масел	Условная вязкость	Температура, °С	
		вспышки не ниже	застывания не выше
<b>Авиационные:</b>			
МС-14	2,26	200	-30

Марка (назначение) масел	Условная вязкость	Температура , °С	
		вспышки не ниже	застывания не выше
<b>Авиационные:</b>			
МС-20	2,95	225	-18
МК-22	3,19	230	-14
МО-24	3,43	240	-17
МС-20С	2,95	250	-18
<b>Индустриальные:</b>			
12 (веретенное 2)	1,96	165	-30
20 (веретенное 3)	2,6-3,31	170	-20
30 (машинное Л)	3,81	180	-15
45 (машинное С)	5,24	190	-10
В (велосит)	1,29-1,4	112	-25
Приборное (МШ)	1,51	120	-60
<b>Турбинные:</b>			
22 (Л)	2,95-3,31	180	-15
30 (УТ)	3,95-4,46	180	-10
46(Т)	6,02-6,55	195	-10
57(турборедукторное)	7,47-8,00	195	-
<b>Компрессорные:</b>			
12 (М)	1,96-2,26	216	-
19(Г)	2,60-3,07	242	-
(КС-19)	2,60-3,07	270	-15
<b>Для паровых машин:</b>			
11 (цилиндровое)	1,76-2,15	215	+5
24 (вискозин)	2,95-3,95	240	-
38 (цилиндровое)	4,50-6,00	300	+17
52 (вапор)	6,00-8,00	310	-

#### Обработка результатов измерения

1. Назначение и описание аппарата для испытания масла на вспышку и воспламенение модели ЛГВО, комплектность аппарата.
2. Составить эскиз общего вида аппарата с основными размерами.
3. Сделать эскиз шаблона для определения уровня масла в тигле.
4. Составить график нагрева масла с нанесением точек вспышки и воспламенения масла.



5. Рассчитать температуру вспышки с учетом барометрической поправки.

6. Дать заключение о сорте масла и пригодности его к работе.

### **3. Определение основных показателей качества смазок**

Одним из наиболее эффективных путей обеспечения надежности и долговечности подвижных сопряжений деталей машин и механизмов и минимизации энергетических потерь при их эксплуатации является использование в качестве компонентов этих сопряжений смазочных материалов. Смазочный материал в реальных машинах всегда присутствует и рассматривается в трибологии как самостоятельное *третье тело*. Это третье тело взаимодействует как с первым и вторым телами, так и с окружающей средой. В ряде случаев окружающая среда оказывается способной влиять на изменение свойств первого, второго и третьего тел. При этом существует взаимное влияние между каждым телом и внешней средой. *Смазочные материалы* – это продукты органического и неорганического происхождения, которые вводят между поверхностями для уменьшения потерь на трение в сопряжении, предотвращения заедания и снижения износа пар трения. Смазочный материал является важнейшим конструкционным элементом узла трения, во многом определяющим его надежность и долговечность, а также потери энергии при его функционировании. Исходя из выше изложенного, важно знать, какие показатели качества смазки являются основными, а также уметь определять их.

## **Лабораторная работа № 7**

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АНАЛИЗИРУЕМОГО ОБРАЗЦА**

#### **Цель работы**

1. Изучение основных методов определения качества смазок.
2. Приобретение навыков по оценке качества смазок.
3. Закрепление знаний теоретического материала по темам.

## Теоретические основы

Для смазки ряда механизмов автомобиля используются густые мазиобразные продукты – пластические смазки (ПС). Ранее употреблялся термин «консистентные смазки». ПС по своему составу являются сложными веществами, состоящими из двух компонентов: масляной основы и твердого загустителя.

В качестве масляной основы используют различные масла нефтяного и синтетического происхождения. Загустителями могут быть вещества органического и неорганического происхождения (мыла жирных кислот, сажа, органические пигменты и т.п.). Для большинства ПС жидкого масла приходится от 70 до 90 % – остальное загуститель. От вязкой жидкой составляющей зависит качество ПС и их эксплуатационные свойства.

В большинстве случаев для производства ПС применяются средневязкие масла и мыло. До 80 % ПС готовят на маслах вязкостью не более  $50 \text{ мм}^2/\text{с}$  при температуре  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , эти ПС применяются при температуре до  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Из масел промышленных, веретенных с вязкостью от 15 до  $50 \text{ мм}^2/\text{с}$  при температуре  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  производят массовые многоцелевые смазки.

Для улучшения эксплуатационных качеств ПС в них вводят присадки от 0,01 до 5 %. Эти присадки улучшают антиокислительные, противозадирные и противокоррозионные свойства. Иногда в ПС вводят стабилизаторы для сохранения однородности и коллоидной стабильности смазки.

В ПС специального назначения (уплотнительных, резьбовых, для рессор и т.п.) применяются наполнители – это твердые порошкообразные продукты (графит и дисульфид молибдена), которые увеличивают прочность ПС, повышают термостойкость, снижают коэффициент трения.

К основным эксплуатационным свойствам ПС относят: предел прочности, вязкость, коллоидную стабильность, температуру каплепадения, механическую стабильность и водостойкость.

Процесс приготовления ПС состоит из: дозировки сырья, приготовления загустителя, смешения масла и загустителя (варки ПС), охлаждения, гомогенизации, деаэрации и расфасовки. Варка ПС производится на специальных установках, называемых варочными котлами, в которых при температуре 100 °С варятся кальциевые ПС, при 150 °С – алюминиевые, при 200 °С – натриевые и литиевые ПС.

### **Порядок выполнения работы**

#### ***Определение внешнего вида***

Берут пробирку и с помощью стеклянной палочки наполняют пробирку на 30 – 50 мм. Рассматривая смазку на свету, определяют ее цвет. Результаты заносят в табл. 10.

#### ***Определение однородности образца***

На стеклянную пластинку наносится испытуемый образец смазки слоем 1 – 2 мм. При рассмотрении невооруженным глазом этого слоя в проходящем свете не должны обнаруживаться капли масла, комки загустителя, твердые включения. Результаты анализа занести в табл. 10.

#### ***Определение наличия воды***

Исследование проводится в соответствии с ГОСТ 1547-84 следующим образом. В чистую сухую пробирку помещают сухой стеклянной палочкой образец смазки до высоты 40 – 60 мм. Затем пробирку закрывают пробкой, в отверстие которой вставляют термометр так, чтобы ртутный шарик находился на 20 мм ниже уровня смазки. Пробирку со смазкой нагревают до температуры 150 – 170 °С.

Появление толчков и потрескиваний при нагревании смазки указывает на наличие в ней воды. Результаты эксперимента заносят в табл. 10.

#### ***Определение растворимости смазки в воде и бензине***

Анализируемый образец смазки помещают в две пробирки до уровня 15 – 20 мм. Затем в одну пробирку наливают четырехкратное количество дистиллированной воды, а во вторую – столько же бензина.

Пробирки нагревают, доводя воду до кипения, а бензин до 60 °С.

Образование мутного (мыльного) раствора с плавающим слоем масла свидетельствует о растворимости смазки в воде, что говорит о принадлежности образца к натриевым смазкам.

Смазка считается растворимой в бензине, если при 60 °С образуется прозрачный раствор, имеющий окраску (в проходящем свете) анализируемого образца. В бензине растворяются смазки с углеводородными загустителями. Результаты эксперимента заносят в табл.10.

### Обработка результатов измерения

После выполнения исследования анализируемых образцов, необходимо оформить отчет согласно табл. 10

Таблица 10

Оценка качества смазок

Критерии оценивания	Марка смазки				
	Castrol LMX	Mobile H-400	Mobile H-300	Mobile H-200	WD-40
Определения внешнего вида					
Определение однородности образца					
Определение наличия воды					
Определение растворимости - в воде - в бензине					

## Лабораторная работа № 8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КАПЛЕПАДЕНИЯ

#### Цель работы

Определение температуры каплепадения. Температуры каплепадения условно определяют температуру плавления смазки, которая должна превышать рабочую температуру трущихся деталей на 15-20 °С.

## Теоретические основы

Одной из причин перехода пластичной смазки в жидкое состояние является чрезмерное ее нагревание. Неправильный выбор смазок для узла трения приводит к серьезным нарушениям его работы, а часто вызывает и аварию автомобиля. Например, если в ступицы колес заложить ту же смазку, которой смазывают узлы трения ходовой части (т.е. среднеплавкую смазку "Солидол С"), то при движении автомобиля и нагреве подшипников ступицы эта смазка вытекает из полости ступицы, попадает на тормозные барабаны, нарушая систему торможения автомобиля со всеми последствиями.

## Порядок выполнения

С помощью стеклянной палочки наполнить чашечку смазкой и вставить термометр так, чтобы его ртутный шарик вошел в смазку.

Собрать прибор, как показано на рис. 12. стакан заполнить водой или глицерином и нагревать равномерно до появления первой капли.

Температуру первой капли фиксируют и заносят в табл.11. Если из чашечки капля не падает, а выдавливается в виде столбика, то за температуру каплепадения принимают ту, при которой столбик смазки коснется дна муфты.

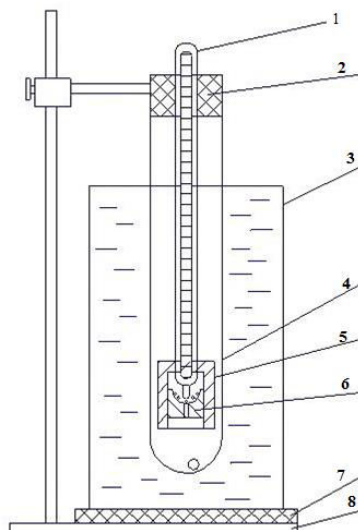


Рис. 12. Установка для определения температуры каплепадения:

- 1 – термометр; 2 – пробка; 3 – стакан с жидкостью; 4 – колба;
- 5 – гильза; 6 – чашечка со смазкой; 7 – нагреватель; 8 – штатив

## Обработка результатов измерения

Зафиксировать температуру, при которой из чашечки упадет первая капля смазки или ее выползающий столбик коснется дна муфты. Результат округлить до целых единиц и записать в отчет.

Таблица 11

Температура каплепадения смазок

№ п/п	Название образца смазок	Температура каплепадения, °С	Вывод

## Лабораторная работа № 9

### РАСЧЁТ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЖИДКОЙ СМАЗКИ

#### Цели работы

1. Изучить оборудование и системы жидкой смазки.
2. Выполнить расчёт системы жидкой смазки.
3. Согласно исходным данным (табл. 11) выбрать сорт масла, определить производительность насоса и параметры основного оборудования системы.

#### Теоретические основы

В зависимости от принципа подвода смазочных материалов к поверхностям и узлам трения различают следующие системы смазки.

#### *Смазка маслами*

*Индивидуальная смазка* применяется для отдельных деталей и узлов, когда их подключение к централизованной системе затруднено. В этом случае применяют отдельные масленки, трубки Пито и др.

*Смазку погружением* применяют в основном в редукторах, когда тепло, выделяемое при работе узлов трения, полностью отводится в окружающее пространство.

*Смазка под давлением* применяется в случае необходимости постоянного отвода тепла и обеспечения жидкостного трения. Масло подается в узлы трения под давлением с помощью циркуляционных систем насосами.

### ***Смазка пластичными материалами***

*Индивидуальная смазка* передается периодически, ручными шприцами через масленки (тавотницы), установленные в корпусе.

*Закладная смазка* заключается в заполнении узла трения смазкой на длительное время. Замена смазки происходит, как правило, во время ремонта.

*Централизованная смазка.* Ее применяют для одновременной смазки большого числа узлов трения, расположенных на значительном удалении от центральной насосной станции.

### ***Аэрозольная система смазки***

Применяется при работе узлов с высокими нагрузками и температурами. Достоинства: небольшой расход смазочных материалов, простота конструкции. Применяются выпускаемые промышленностью генераторы масляного тумана (ГМТ). Генератор масляного тумана состоит из следующих основных узлов: фильтра-влагоотделителя для удаления загрязнений и влаги из сжатого воздуха; электромагнитного клапана для подачи сжатого воздуха, регулятора давления воздуха, маслораспылителя, резервуара для масла, приборов контроля и регулирования.

Генератор работает следующим образом. Сжатый воздух от компрессора или сети подается по воздухопроводу через фильтр-влагоотделитель, электромагнитный клапан, регулятор давления, электронагреватель воздуха в маслораспылитель и, создавая разрежение в его эжекционной камере с помощью главного и вспомогательного

дросселей, всасывает в эту камеру из резервуара необходимое для распыления количество масла. Образующаяся при этом масляно-воздушная смесь (туман) находится под давлением в верхней части резервуара – области. Под созданным давлением в области масляный туман через отверстие распылителя по системам трубопроводов подается к точкам смазки.

Масло в резервуар подается по трубопроводу шестеренными насосами (их, как правило, два – один рабочий, один резервный) через фильтр и подогревается в резервуаре с помощью электронагревателя. Уровень масла в резервуаре контролируется датчиками реле минимального и максимального уровня. Электроконтактный манометр отключает компрессор сжатого воздуха при превышении давления тумана в резервуаре сверх допустимого. Одновременно срабатывает предохранительный клапан, выпуская масляный туман в атмосферу.

Поступая по трубопроводам к узлам трения, масляный туман конденсируется в соплах и на поверхности трения подается в жидком виде, а воздух через неплотности выходит в атмосферу.

### ***Циркуляционные системы жидкой смазки***

Циркуляционные системы жидкой смазки по устройству одинаковы и отличаются лишь производительностью, типом насосов, типом фильтров, приборами контроля и регулирования.

Работает циркуляционная система жидкой смазки следующим образом. Масло рабочим насосом через плавающую всасывающую трубку всасывается из резервуара и поступает в пластинчатые фильтры, в которых происходит очистка масла от механических примесей, откуда через маслоохладитель по напорному трубопроводу поступает к узлам трения. После смазки всех узлов масло самотеком по сливному трубопроводу возвращается в резервуар. В нем масло отстаивается, освобождается от механической примеси и воды с помощью центробежного сепаратора. Для улучшения отстоя, а также для работы в зимнее время масло в резервуаре



подогревается нагревательным элементом с помощью пара или электроэнергии.

Подача пара регулируется с помощью мембранного вентиля с электромагнитным приводом. Вентиль включается при минимально допустимой температуре масла в резервуаре, а выключается при достижении нормальной температуры масла. Электроподогрев регулируют терморайой. Команду на включение и выключение вентиля дает электроконтактный термометр, датчик которого установлен на резервуаре и контролирует температуру масла. Температура масла также контролируется после маслоохладителя с помощью датчика и электроконтактного термометра.

При превышении допустимой температуры на пульт управления системой подается предупреждающий сигнал. Для непрерывного измерения давления масла до и после фильтров применяется дифференциальный манометр. Для измерения давления масла в напорном трубопроводе за теплообменником установлен манометр общего назначения. В аварийных ситуациях, когда фильтры засорены и их приводы не включаются, срабатывает перепускной клапан и масло поступает к узлам трения, минуя фильтры.

Для контроля давления масла в системе и автоматического включения резервного насоса на станции жидкой смазки установлены два электроконтактных манометра (ЭКМ). При уменьшении давления ниже допустимого (0,2...0,25 МПа) минимальный контакт первого ЭКМ замыкается и автоматически включается резервный насос. Одновременно подаются световой и звуковой сигналы. При повышении давления до 0,35 МПа замыкается максимальный контакт и резервный насос отключается. Вторым ЭКМ контролирует аварийно низкое давление в системе. При падении давления до аварийного значения (0,1...0,15 МПа) минимальный контакт замыкается, подается команда на отключение двигателей насосов с выдержкой времени, и включаются световой и звуковой сигналы. При повышении давления в напорном трубопроводе после теплообменника сверх

допустимого, например, при засорении сопел подвода масла к узлам трения, замыкается максимальный контакт второго ЭКМ и включается предупреждающий сигнал. Контроль уровня масла в резервуаре выполняется с помощью датчика уровня поплавкового типа.

В системе смазки подшипников жидкостного трения применяется резервуар (пресс-бак) с тремя реле уровня, давление воздуха в котором равно давлению масла в напорном трубопроводе.

### **Порядок выполнения работы**

#### **Методика расчёта. Выбор сорта масла**

Сорт масла выбирают с учётом обеспечения жидкостного трения в узле при заданных условиях эксплуатации. Необходимую кинематическую вязкость масла для подшипников скольжения находят по выражению

$$\nu = 1,06 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{W \cdot \lambda^2}{l \cdot d \cdot \omega [S_0]}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (20)$$

где  $W$  – нагрузка на подшипник, Н;  $\lambda$  – относительный зазор,

$$\lambda = \frac{D-d}{d}, \quad (21)$$

где  $D$  - внутренний диаметр подшипника, м;  $l$  - осевая длина вкладыша подшипника, м;  $d$  - диаметр шейки вала, м;  $\omega$  – угловая скорость  $\text{с}^{-1}$ ;  $[S_0]$  - критерий Зоммерфельда, определяемый по табл.12.

Вязкость масла, применяемого для смазки зубчатых колёс, определяют по формуле

$$\text{ВУ}_{50} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot q, \quad (22)$$

где  $\text{ВУ}_{50}$  - условная вязкость масла при температуре 50 °С;  $m = 1,6$  - коэффициент, зависящий от окружной скорости зубчатых колёс;  $q$  - удельная нагрузка на единицу длины зуба, Н/см.

Для подшипников качения сорт масла выбирают в зависимости от температуры среды с учётом рекомендаций, указанных в табл. 12. Из табл.12 по рассчитанной вязкости масла выбирают сорт масла для подшипников скольжения или зубчатых передач.

## Характеристика масел

Марка масла	V, мм <sup>2</sup> /с	T <sub>в</sub> , °С	ВУ <sub>50</sub>	Область применения
<b>П8П</b>	<b>44-46</b>	<b>120</b>	<b>5,3-7,0</b>	<b>Для зубчатых передач</b>
<b>Индустриальное</b>				Узлы трения общего назначения, подшипники качения
12	10-14	165	1,86-2,26	
20	17-23	170	2,6-3,3	
30	27-33	180	3,8-4,6	
45	38-52	190	5,2-7,1	
<b>И50А</b>	<b>45-55</b>	<b>200</b>	<b>5,6-7,5</b>	<b>Подшипники качения</b>
<b>Цилиндровое</b>				Подшипниковые узлы средней и тяжелой серии
11	74,3	215	8-9,3	
24	280	240	20-28	
38	580	300	32-40	
<b>Турбинное</b>				Подшипники скольжения
22	20-23	180	3,0-3,5	
30	28-32	180	4,0-4,5	
<b>Дизельное</b>	12-14	170	2,1-2,5	Гидравлика и циркуляционные системы
МС-14	120	200	14-16	
МС-20	158	225	16-18	

Количество тепла, выделяющееся в узлах трения, вычисляют по формуле

$$Q_1 = 7,76 \cdot n \cdot (1 - h) \cdot N, \text{ Дж/мин} \quad (23)$$

где  $n$  - количество узлов трения;  $h = 0,05 \dots 0,06$  – средний КПД узла трения;  $N$  - передаваемая мощность одним узлом, Вт.

Количество тепла, отдаваемое в окружающее пространство от узлов трения путём теплопередачи,

$$Q_2 = 60 \cdot k \cdot (T_2 - T_1) \cdot F, \text{ Дж/мин}, \quad (24)$$

где  $k$  - общий коэффициент теплопередачи от масла в окружающую среду, Вт/см<sup>2</sup>·с, для практических расчётов принимают  $k = 15 \dots 20$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $T_2$  - рабочая температура масла, °С;  $T_1$  - температура окружающей среды, °С;  $F$  - площадь узла, через которую тепло отводится в окружающее пространство, м<sup>2</sup>.

Производительность насоса станции при циркуляционной смазке

$$P = \frac{(Q_1 - Q_2) \cdot 10^3}{\xi \cdot G \cdot \Delta T_1}, \text{ м /мин}, \quad (25)$$

где  $\xi = 0,5 \dots 0,8$  - коэффициент, учитывающий степень использования масла в узлах трения;  $G = 1,8 \cdot 10^6$ , Дж/(м<sup>3</sup>·°С) - удельная объёмная теплоёмкость минеральных масел;  $\Delta T_1 = T_B - T_2$  °С;  $T_B$ - температура вспышки масла, °С.

Необходимая поверхность теплообменника

$$F_m = \frac{Q_1 - Q_2}{k \cdot \Delta T_2}, \text{ м}, \quad (26)$$

где  $\Delta T_2 = 80 \dots 100$  °С - средний перепад температур масла и окружающей жидкости.

Площадь фильтров для очистки масла

$$F_\phi = \frac{P}{100 \cdot V_\phi}, \text{ м}^2, \quad (27)$$

где  $V_\phi = 6 \dots 15$  м/м - скорость фильтрации масла.

Площадь сечения магистральных трубопроводов

$$F_M = \frac{1}{60} \cdot \frac{P}{V_M}, \text{ м}^2, \quad (28)$$

где  $V_M$  - скорость подачи масла: для напорных трубопроводов  $V_M = 0,5 \dots 1,0$ ; для сливных  $V_M = 0,2 \dots 0,3$  м/с.

Площадь сечения маслопроводов к узлам трения

$$F_{\text{тр}} = (0,8 \dots 0,82) \cdot F_M, \text{ м}^2, \quad (29)$$

Площадь сечения отводящих маслопроводов

$$F_{\text{отв}} = 4 \cdot F_{\text{тр}}, \text{ м}^2. \quad (30)$$

По производительности насоса выбирают из табл.13 тип станции жидкой смазки.

Таблица 13

Технические характеристики станции жидкой смазки

Параметры	Тип станции	
	ЦС-70М с маслоохладителем	ЦС-70 без маслоохладителя
Производительность одного насоса, м <sup>3</sup> /мин	0,07	0,07
Вместимость резервуара, м <sup>3</sup>	1,4	1,4

Параметры	Тип станции	
	ЦС-70М с маслоохладителем	ЦС-70 без маслоохладителя
Давление фильтра, МПа	0,4	0,4
Рабочее давление масла, МПа	0,3	0,4
Расход воды, л/мин	60...70	60...70
Параметры насоса шестеренчатого ГП-24 подача, м <sup>3</sup> /мин	0,07	0,07
давление, МПа	0,25	0,25
Масса станции	1150	775

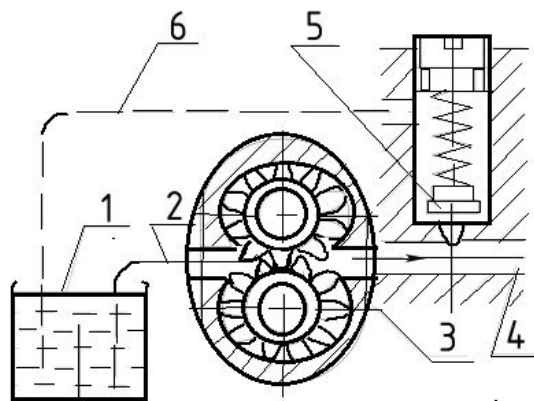


Рис. 13. Схема шестерёнчатого насоса: 1 - масляный резервуар; 2, 6 - трубопровод; 3 - замкнутая камера насоса; 4 - нагнетательный трубопровод; 5-предохранительный клапан

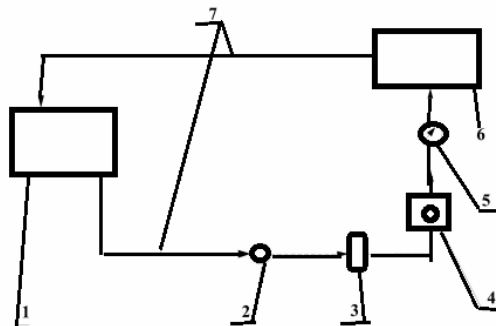


Рис.14.Схема циркуляционной системы смазки: 1 - масляный резервуар; 2 - масляный насос; 3 - фильтр; 4 - регулятор давления; 5 - манометр; 6 – узлы трения; 7 - трубопровод

Для подшипников качения сорт масла выбирают в основном в зависимости от температуры среды.

### **Обработка результатов измерения**

1. Расчетная часть, посвященная определению основных параметров и выбору системы жидкой смазки.
2. Выводы и предложения о рациональной системе жидкой смазки.

## **Лабораторная работа № 10**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТИЧЕСКОЙ СМАЗКИ**

#### **Цель работы**

Определение типа, качества и условий применения смазки

#### **Теоретические основы**

В упрощенном виде структуру пластичной смазки можно рассматривать как вату - загуститель, пропитанную маслом. Загустителями служат консистентные углеводороды, мыла различных металлов и жирных кислот. Введенный в масло загуститель образует с ним пространственный скелет, в ячейках сетки которого это масло закрепляется. Волокна загустителя могут быть прямыми, скрученными или спиральными. Молекулы загустителя, кристаллизуясь в решетке, могут быть волокнистыми или шаровидными.

С точки зрения взаимодействия с жидкой фазой, загустители можно разделить на 3 группы.

1. Загустители, отличающиеся полиморфной кристаллической структурой. При повышенной температуре образуются высокотемпературные фазы, которые при охлаждении переходят в другие кристаллические формы. К таким загустителям относятся все мыла. У пластических смазок с такими загустителями появляется склонность к переохлаждению, выделению воды. При быстром охлаждении они могут сохранить неупорядоченное строение и застывать в стеклообразную аморфную массу.

2. Твердые углеводороды (парафины, церезина), не обладающие полиморфизмом, которые плавятся при сравнительно невысокой температуре и образуют с маслом гомогенные растворы.

3. Теплостойкие органические и неорганические загустители, не растворимые в жидкой фазе. Они не подвержены фазовым превращениям под действием температурных изменений. Пластические смазки на их основе характеризуются высокой теплостойкостью. Загустители этой группы подвергаются поверхностной химической обработке, которая дает возможность взаимодействовать при смешивании с маслом. К этой группе относятся алюминиевые мыла.

### ***Реологические свойства***

К реологическим свойствам относят вязкость, пенетрацию, коэффициент тиксотропии и предел текучести.

Вязкость измеряют капиллярными вискозиметрами. В основном она зависит от температуры, типа загустителя и масла.

Пенетрация – консистенция, т.е. степень густоты. Определяется пенетрометром Ричардсона.

Коэффициент тиксотропии – отношение вязкости до механического разрушения к вязкости после механического разрушения.

Предел текучести – это касательное напряжение, выше которого начинается течение смазки. Он имеет большое значение для определения поведения смазок при разгоне механизма в условиях низких температур.

### ***Трибологические свойства***

Трибологические свойства характеризуют способность пластичных смазок снижать трение при различных температурах.

### ***Термостойкость пластических смазок***

Способность сохранять свои эксплуатационные качества при повышенной температуре характеризуется термостойкостью. Термостойкость оценивается температурами каплепадения и размягчения.

### ***Температура каплепадения смазки***

Такая температура, при которой от наклоненного под заданным углом сосуда со смазкой отрывается первая капля расплавленной смазки,

Некоторые смазки даже при значительной температуре не образуют капель. Для этих смазок определяют температуру размягчения - температуру, при которой смазка вытечет из стандартной гильзы на 5 мм.

Для смазок с базовым маслом, имеющим небольшую вязкость, возможно частичное испарение. Для таких смазок определяют потери на испарение взвешиванием порции смазки до и после нагрева.

### ***Механическая стойкость***

Для оценки механической стойкости производят опрессовывание смазки в цилиндре при числе циклов до десятков тысяч. По измеренным значениям пенетрации до и после опрессовывания делают представления о механической стойкости. Механическую стойкость могут оценить и при различных температурах.

### ***Поглощение воздуха***

Поглощаемость воздуха определяют взбиванием смазки в высокоскоростной лопастной мешалке. Затем взбитым маслом заполняют пробирки и помещают их для вращения в центрифуге. Если в мешалке в смазку попал воздух, то объем смазки в пробирке после центрифуги понизится. Объем этот измеряют и делают заключение о поглощаемости воздуха. Хорошая смазка не должна поглощать воздуха более 15 % объема.

### ***Водостойкость***

Исследуется поведение смазки при контакте с водой. Вода может растворить смазку и вымыть загуститель. Этому явлению подвергаются смазки, загущенные натриевыми мылами жирных кислот. С водой смазки могут образовывать эмульсии. Единой методики определения водостойкости пластичных смазок нет. Ее можно определить изменением числа пенетрации, до и после контактирования масла с водой, изменением массы при



попаданием в смазку воды либо при вымывании смазки из подшипникового узла.

Хорошая смазка не должна эмульсироваться, смываться и образовывать на воде масляную пленку.

### ***Коррозионное действие***

Пластичные смазки могут содержать химически активные вещества. Качество смазки определяется металлическими пластинками (медь, сталь и др.), погружаемыми в смазку на несколько часов (от 3 до 24) при температуре 100 °С. Если на металлической пластинке после ее погружения остаются следы коррозии (налет либо потемнение), то смазку к эксплуатации не допускают.

### ***Защитное действие***

Смазки должны защищать поверхность от воздействия агрессивных сред. Оценка защитных свойств смазки, производится с помощью металлических пластин, смазанных исследуемой смазкой, погруженных в морскую или пресную воду. Производятся также исследования на работающих подшипниковых узлах. Время испытания 28 суток.

### ***Химическая стойкость***

Это устойчивость смазки к изменению химического состояния под действием разных реагентов – кислот, щелочей, кислорода, воздуха и др. Химическая стойкость имеет очень важное значение при хранении смазок, при работе узла с одной закладной смазкой на несколько лет, а иногда на весь период эксплуатации. Химическую стойкость исследуют различными методами: после длительного хранения анализируют корочку, появившуюся на поверхности; применяют кусочки металла и др.

### ***Микробиологическая стойкость***

Некоторые компоненты пластичных смазок могут быть пищей для бактерий, развитие которых приводит к разрушению коллоидной структуры смазки. Микробиологическую стойкость смазки исследуют на тонких пленках, нанесенных на металлические или стеклянные пластинки, для

предупреждения вредного действия бактерий на смазки в качестве биоцидов вводят соли бензойной кислоты, салицилового фенола.

### ***Радиационная стойкость***

На атомных предприятиях и в ядерных реакторах, в некоторых видах военной техники должны применяться стойкие к  $\alpha$  и  $\beta$  излучению смазки. Высокоэнергетическое действие излучения приводит к активизации процессов окисления и поляризации, в результате которых растет вязкость масла и уменьшается пенетрация. При длительном воздействии смазка твердеет. Радиационную стойкость определяют действием на смазку радиоактивным источником, например, кобальтом. С целью повышения радиационной стойкости в смазку помещают ароматические полифениловые и силиконовые масла.

### ***Классификация пластичных смазок***

1. По виду дисперсионной фазы (масла):

- смазки, получаемые загущением минеральных масел; из беспарафиновой нефти, из парафиновой нефти;
- смазки, получаемые загущением синтетических масел: силиконовых, полиалкиленгликолевых, сложноэфирных, фторированных, полифениловых.

2. По виду дисперсной фазы (загустителя):

- смазки, загущенные мылами металлов: конвенционными (Ca, Na, Li, Al, Ba, Pb), смешанными (Ca-Na; Ca-Zn), комплексными (C, Al);
- смазки, загущенные другими загустителями: твердыми углеводородами (парафины и церезины); органическими (пигментные или карбамидные); неорганическими (кремнеземные или бентонитовые).

3. По назначению:

- для подшипников качения;
- для подшипников скольжения;
- для передач;
- канатная и др.

4. По особым свойствам:

- термостойкие;
- низкотемпературные;
- стойкие к высокому давлению;
- влагостойкие;
- кислотостойкие и др.

Для смазки открытых и плохо защищенных узлов и деталей горного оборудования применяют мажеобразные вещества - пластичные смазки. Консистентные смазки - это сложные коллоидные смеси, в состав которых входят маловязкое индустриальное масло 80-90 %, загуститель - соли жирных кислот (натриевые, кальциевые, литиевые мыла) или твердые углеводороды (церезин, парафин), стабилизатор - вода, сохраняющая однородность коллоидной смеси и предотвращающая расслаивание смазки на загуститель и минеральное масло. Для улучшения свойств в отдельные смазки добавляют наполнитель: канифоль - для получения фрикционных смазок, коллоидный графит - для улучшения противоизносных качеств смазок и др. В настоящее время загустители для консистентных смазок в основном вырабатываются из синтетических жирных кислот. Такие смазки называются синтетическими. Загустители из натуральных жиров применяются редко.

В отличие от жидких минеральных масел, консистентные смазки обладают свойствами твердых или жидких тел. При небольших усилиях смазки подчиняются закону упругих деформаций и могут удерживаться на вертикальных и наклонных поверхностях.

По назначению консистентные смазки подразделяются на универсальные (У); индустриальные (И); специальные (консервационные - К, морские - М и др.).

Универсальные смазки по температуре каплепадения делятся на 3 группы:

- 1). низкоплавкие (Н), имеющие температуру каплепадения до 65 °С;
- 2). среднеплавкие (С), температура каплепадения доходит до 100 °С;

3). тугоплавкие (Т), температура каплепадения более 100 °С,  
Другие буквы в марках универсальных смазок отражают их специфические свойства: В - водостойкая, Д - длительного хранения, М - морозостойкая, А - активированная, выдерживающая тяжелые нагрузки. Универсальные смазки расшифровываются так: УС-1 - универсальная среднеплавкая № 1; УТВ - универсальная тугоплавкая водостойкая.

При эксплуатации горного оборудования из низкоплавких смазок находят широкое применение технический вазелин (УН) и консервационная смазка (ОХК). Загустителем в этих смазках служат твердые тугоплавкие углеводороды. Вазелин можно использовать для смазки легконагруженных узлов трения, рабочая температура которых не превышает 50-60 °С.

В универсальных среднеплавких смазках (солидолах) загустителем являются кальциевые мыла, стабилизатором - вода. Ввиду того, что кальциевые мыла не растворяются в воде, солидолы рекомендуется применять для смазки узлов трения, работающих во влажной среде. В последнее время стали широко применяться синтетические солидолы: пресс-солидол С и солидол С.

Тугоплавкие смазки (консталины) изготавливаются на натриевых мылах, растворимых в воде, и их температура каплепадения доходит до 130 °С. Консталины рекомендуется применять для смазки узлов трения, имеющих высокую температуру нагрева и работающих в сухой атмосфере.

### **Порядок выполнения работы**

В условиях производства очень важно знать простые методы определения свойств консистентных смазок и уметь их различать.

Для заданной консистентной смазки

1. Определить наличие механических примесей.

Для этого на чистое стекло размером 70x70x1 мм наносят слой смазки толщиной 0,5-1,5 мм. Нанесенный слой смазки просматривают в проходящем свете и определяют наличие механических примесей. После

этого слой смазки закрывают вторым стеклом и, передвигая стекло, определяют абразивные механические примеси.

2. Проверить расслаиваемость консистентной смазки. Нормальная консистентная смазка должна иметь однородную концентрацию. Признаком расслаиваемости смазки является наличие слоя минерального масла на ее поверхности. Для проверки на расслаиваемость в стеклянную пробирку помещают около 5-8 г смазки и нагревают на спиртовой горелке до перехода смазки из пластического состояния в жидкое. Смазка считается хорошей, если в расплавленном состоянии она однородна и в ней нет кусочков мыла.

3. Определить температуру каплепадения.

4. Проверить растворимость смазки и определить тип загустителя.

Вид загустителя определяют по его способности к растворению в воде и бензине. Твердые углеводороды растворяются с в бензинах, натриевое мыло - в воде, кальциевые мыла не растворяются ни в воде, ни в бензинах. Тип загустителя определяют следующим образом. Берут две пробирки и помещают в них 2-3 г исследуемой смазки. В первую пробирку до половины наливают дистиллированную воду. Смесь размешивают. Нагревают пробирку на спиртовой горелке до температуры 60 - 70 °С; периодически взбалтывая. Если вода в пробирке становится мутной, загуститель - натриевое мыло. Во вторую пробирку до половины наливают авиационный бензин Б-70. Пробирку нагревают в стакане горячей воды. Если загуститель углеводороды, то смазка растворится полностью. Мыльные загустители в бензине не растворяются и остаются отдельными кусочками.

5. Определить число пенетрации. Густота, или консистентность смазки характеризуется числом пенетрации (табл.14). Число пенетрации показывает глубину погружения конуса в десятых долях миллиметра в испытываемую смазку в течение 5 с.

Классификация пластичных смазок по консистенции

Класс	Диапазон пенетрации	Визуальная оценка консистенции
000	445...475	Очень мягкая, аналогичная очень вязкому маслу
00	400...430	
0	355...385	Мягкая
1	310...340	
2	265...295	Вазелинообразная
3	220...250	Почти твердая
4	175...205	Твердая
5	130...160	
6	85...115	Очень твердая, мылообразная

Схема пенетрометра дана на рис.15. Смазку плотно набивают в цилиндр 5. Цилиндр со смазкой помещают на столик 6. Освобождают винтом 3 стержень конуса 4 и по диску 2 регистрируют глубину погружения иглы за 5 с. Время фиксируют по секундомеру. Вес конуса равен 150 г.

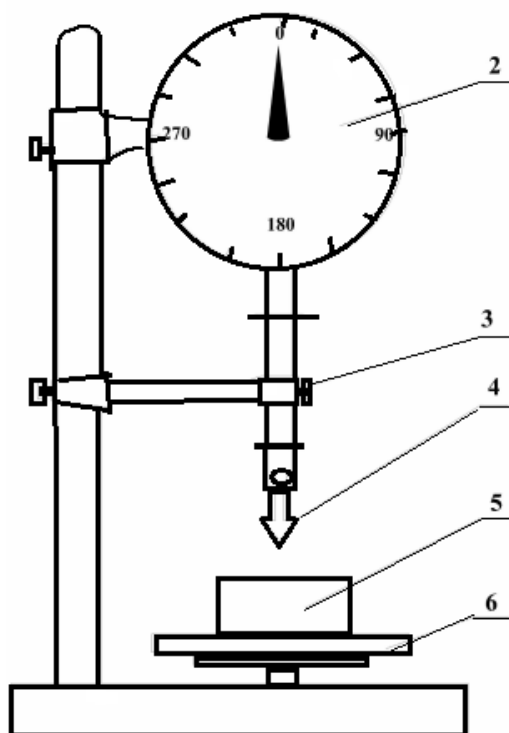


Рис.15. Прибор для определения числа пенетрации консистентной смазки: 1 - стойка; 2 - циферблат; 3 - винт; 4 - конус; 5 - цилиндр с исследуемой смазкой; 6 - столик

Считается, чем глубже погружается конус в смазку, тем меньше ее консистенция. На основании полученных данных определяют марку исследуемой смазки.

### **Обработка результатов измерения**

1. Результаты испытаний числа пенетрации и температуры каплепадения пластичных смазок.
2. Выводы и заключение о сорте пластичной смазке и ее эксплуатационных свойствах.

## **Лабораторная работа № 11**

### **РАСЧЁТ СИСТЕМ ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКИ**

#### **Цели работы**

Выполнить расчёт системы пластической смазки. Изучить оборудование и системы пластической смазки.

Согласно варианту, по исходным данным (табл. 15) рассчитать основные параметры станций пластичной смазки.

#### **Теоретические основы**

Централизованные системы пластичной смазки (ЦСПС). В зависимости от частоты подачи смазки, расположения и количества узлов трения для смазки оборудования применяют в основном двухмагистральные ЦСПС с ручным приводом либо автоматические с электрическим приводом петлевого и концевого типов. Для смазки отдельных машин и механизмов с небольшим числом смазываемых узлов трения применяют ЦСПС с ручным приводом.

Для обслуживания отдельных машин, нуждающихся в частой подаче смазки, а также в тех случаях, когда от одной системы необходимо смазывать несколько крупногабаритных машин, сосредоточенных в одном месте и не расположенных в одну линию, применяют ЦСПС петлевого типа.

Для обслуживания машин и механизмов, вытянутых в линию или расположенных на большой площади, применяются ЦСПС концевого типа.

## Порядок выполнения работы

Норма расхода пластичной смазки в единицу времени на единицу площади смазываемой поверхности

$$q = q_1 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5, \text{ см}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}, \quad (31)$$

где  $q_1=11 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , - максимальная норма расхода смазки для подшипника;

$k_1$  - коэффициент, учитывающий зависимость нормы расхода смазки от диаметра подшипника, для подшипников скольжения;

$$k_1 = 1 + 4 \cdot (D - 100) \cdot 10^{-3}, \quad (32)$$

для подшипников качения

$$k_1 = 1 + (D - 100) \cdot 10^{-3}, \quad (33)$$

$k_2$  - коэффициент, учитывающий частоту вращения подшипника  $n$ ;

$k_3$  - коэффициент, учитывающий качество поверхности контакта. При хорошем качестве, когда суммарная площадь дефектов  $F_g$  на поверхности контакта не превышает 5 %,  $k_3=1,0$ ; при  $F_g >5\%$   $k_3=1,3$ ;

$k_4$  - коэффициент, учитывающий рабочую температуру подшипника  $T_p$ , при  $T_p < 75 \text{ }^\circ\text{C}$   $k_4=1,0$ ; при  $T_p = 75 \dots 150 \text{ }^\circ\text{C}$   $k_4=1,2$ ;

$k_5$  - коэффициент, учитывающий нагрузку на подшипники,  $k_5 = 1,0 \dots 1,1$ ;  $D$  - внутренний диаметр подшипника, мм;  $n$  - частота вращения подшипника,  $\text{мин}^{-1}$ .

Объем пластичной смазки, периодически подаваемой питателем к узлу трения

$$V = q \cdot F \cdot T, \text{ см}^3, \quad (34)$$

где  $F$  – площадь контрольной поверхности

$$F = \pi \cdot D \cdot l, \text{ м}^2; \quad (35)$$

где  $l$  - ширина подшипника, м;  $T$  - период между двумя последовательными подачами смазки, ч. Его выбирают в зависимости от конструктивных особенностей и условий эксплуатации узлов трения (обычно  $T = 0,4 \dots 2,0$  ч). По значению  $V$  и числу узлов трения (числу



отводов) выбирают тип питателя с ближайшим большим значением номинальной подачи в соответствии с табл.15.

Таблица 15

Исходные данные

№ n/n	Тип подшипника	D,м	l,м	n, мин <sup>-1</sup> 1	Fg,%	T <sub>p</sub> , °C	N	L, м	V <sub>н</sub> , см <sup>3</sup> /ход
1	скольжения	0,1	0,15	350	4	70	1	5	2
2	скольжения	0,05	0,08	340	5	70	2	4	2
3	скольжения	0,09	0,1	430	4	75	3	6	2
4	скольжения	0,06	0,09	100	6	60	4	3	2
5	скольжения	0,1	0,15	280	3	55	3	1	2
6	качения	0,06	0,05	700	2	100	1	5	5
7	качения	0,07	0,055	3000	2	120	2	6	5
8	качения	0,05	0,04	45000	4	130	3	5	5
9	качения	0,08	0,06	8000	3	140	4	4	5
10	качения	0,09	0,07	5000	5	150	3	2	5

Примечание: D - внутренний диаметр подшипника, м; l - ширина подшипника, м; n - частота вращения подшипника, мин<sup>-1</sup>; Fg - суммарная площадь дефектов на поверхности контакта, %; T<sub>p</sub> - рабочая температура подшипника, °C; N - число узлов трения; L - длина трубопровода, м.

Если объём пластичной смазки V существенно превышает подачу V<sub>н</sub>, указанную в табл.15, выбирают несколько питателей, суммарная номинальная подача которых будет равна или больше объёма пластичной смазки V. В этом случае количество пластичной смазки, расходуемое за один цикл работы системы, определяют по формуле

$$Q_{ц} = \sum Ч_i + V_{н}, \text{ см}^3, \quad (36)$$

где Ч<sub>i</sub> - число питателей данного типа;

V<sub>н</sub>- номинальная подача питателя данного типа, см<sup>3</sup>/ход.

Суточный расход пластичной смазки определяют по формуле

$$Q_c = \frac{24 \cdot Q_{ц}}{T}, \text{ см.} \quad (37)$$

Производительность  $\Pi_{н.р}$  насоса автоматической централизованной системы пластичной смазки (ЦСПС) вычисляют по формуле

$$\Pi_{н.р} = \frac{Q_{ц}}{\beta \cdot T_H}, \text{ см}^3/\text{мин}, \quad (38)$$

где  $\beta = 0,75 \dots 0,8$  - коэффициент, учитывающий снижение производительности при износе насоса;  $T_H = 5 \dots 20$  мин - время нагнетания смазки.

По результатам расчётов  $\Pi_{н.р}$  принимают ближайшую производительность  $\Pi_{н.р}$  из табл.15.

Число автоматических ЦСПС определяют по формуле

$$N_\alpha = \frac{\Pi_{н.р}}{\Pi_{ч.ф}}, \quad (39)$$

где  $\Pi_{ч.ф}$ - фактически производительность насоса (см /мин) выбранной станции смазки по табл. 16.

По результатам расчётов  $N_\alpha$  округляют число автоматических ЦСПС до ближайшего целого значения.

Диаметр условного прохода трубопровода определяют по эмпирической формуле

$$D_y = 5 + 0,4 \cdot L, \text{ мм}, \quad (40)$$

где  $L$  – длина трубопровода, м (табл. 15).

Таблица 16

Технические характеристики станций густой смазки

Параметры	Тип станции петлевой, концевой		
	0600-1-1-1 0600-2-1-1	0150-1-1-1 0150-2-1-1	0075-1-1-1 0075-2-1-1
Производительность насоса, см <sup>3</sup> /мин	0,6·10 <sup>+3</sup>	0,15·10 <sup>+3</sup>	0,075·10 <sup>+3</sup>
Номинальное давление, МПа	20	20	10
Вместимость резервуара, дм <sup>3</sup>	125	40	16

Параметры	Тип станции петлевой, концевой		
	0600-1-1-1 0600-2-1-1	0150-1-1-1 0150-2-1-1	0075-1-1-1 0075-2-1-1
Мощность электродвигателя, КВт	1,1	0,75	0,37
Тип электродвигателя	ЧАХ80А4	ЧАХ71В4	ЧАА63В4
Масса, кг	300	172	125

### Обработка результатов измерения

1. Расчет системы пластичной смазки.
2. Принципиальная схема системы пластичной смазки.
3. Выводы и заключение о рациональной схеме пластичной смазки.

### 4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Адсорбция и хемосорбция твёрдых тел. Физико-химические основы поверхностных явлений.
2. Адгезия и когезия материалов.
3. Виды износа и разрушения поверхностей твёрдых тел и деталей машин.
4. Исследование слоёв поверхности материалов.
5. Эрозионное, механическое, усталостное и абразивное изнашивания.
6. Методы повышения износостойкости деталей.
7. Области применения и основные характеристики смазочных материалов.
8. Молекулярно-механическая теория трения.
9. Совместимость трибосистем, критерии их совместимости.
10. Внешнее трение твердых тел. Причины возникновения.
11. Изнашивание, износ, износостойкость.
12. Основные закономерности изнашивания.
13. Методы повышения износостойкости узлов трения и деталей машин.
14. Молекулярно-механическая и адгезионно-деформационная теории трения.

15. Методы измерения микрогеометрии поверхностей трения.
16. Триботехнические металлические материалы.
17. Триботехнические материалы: перечислите полимерные и металлополимерные материалы для деталей машин.
18. Керамические антифрикционные материалы. Примеры. Особенности.
19. Трибологические испытания смазочных материалов: назначение и особенности.
20. Смешанная и комбинированная смазка.
21. Экологическая оценка работы трибосистем.
22. Присадки к смазочным материалам. Виды, особенности.
23. Методы анализа отработанных смазочных материалов. Сравнение эффективности.
24. Значение, ущерб экономике и роль трения в промышленности.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

Грицук И.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ по определению качества автомобильных топлив и смазочных материалов. Макеевка: ДонГАСА, 2003.- 64 с.

Попов В.Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения. От нанотрибологии до динамики землетрясений. М.: Физматлит, 2013. - 352 с.

Гура Г.С. Механика и трибология движения колесной пары в рельсовой колее: монография. М.: учеб.-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013.- 528 с.

Сорокин Г.М. Мальшев В.Н. Основы механического изнашивания сталей и сплавов :учеб. пособие. М.: Логос, 2014. - 308 с.

Пенкин Н.С. Основы трибологии и триботехники : учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2012. - 208 с.

Мышкин Н.К. Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии М.: Физматлит , 2007. - 368 с.

Бородавко В.И. Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей . Минск: Белорусская наука, 2013. - 464 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Техника безопасности при проведении лабораторных работ.....	4
2. Оценка качества масел. Определение физико-химических характеристик.....	7
Лабораторная работа № 1. Определение вязкости .....	7
Лабораторная работа № 2. Определение коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса.....	13
Лабораторная работа № 3. Определение плотности жидкости .....	18
Лабораторная работа № 4. Определение плотности и коксуемости масел и других нефтепродуктов.....	23
Лабораторная работа № 5. Оценка качества масла по внешним признакам .....	26
Лабораторная работа № 6. Определение температуры вспышки масла в открытом тигле.....	34
3. Определение основных показателей качества смазок.....	40
Лабораторная работа № 7. Оценка качества анализируемого образца.....	40
Лабораторная работа № 8. Определение температуры каплепадения .....	43
Лабораторная работа № 9. Расчет оборудования системы жидкой смазки .....	45
Лабораторная работа № 10. Определение свойств пластической смазки.....	53
Лабораторная работа № 11. Расчет систем пластичной смазки.....	62
4. Вопросы для проверки знаний.....	66
Библиографический список.....	67