

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»
ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части
по выбору студента профессионального цикла**

СИСТЕМЫ СМАЗЫВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**для студентов всех форм обучения
направления подготовки 15.03.02
«Технологические машины и оборудование»**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ
МЕТАЛЛУРГИИ» ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части

по выбору студента профессионального цикла

СИСТЕМЫ СМАЗЫВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

для студентов всех форм обучения

направления подготовки 15.03.02

«Технологические машины и оборудование»

Рассмотрены на заседании
кафедры «Механическое оборудование
заводов черной металлургии»
им. проф. Седуша В.Я.
Протокол № 11 от 03.04.2017 г.

Утверждены на заседании
учебно-издательского совета ДОННТУ
Протокол № ____ от __.__. 20__ г.

**Донецк
ДОННТУ
2017**

УДК 53.083

Методические указания к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части по выбору студента профессионального цикла «Системы смазывания металлургического оборудования» для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» / сост.: В. А. Сидоров. – Донецк: ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2017. – 20 с.

Отражены цели и задачи лабораторного практикума по дисциплине «Системы смазывания металлургического оборудования» для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование». Описаны структура лабораторных работ, порядок подготовки к ним, последовательность операций и действий, направленных на выполнение поставленных задач, указаны форма представления результатов работы и порядок защиты отчетов по выполненным заданиям, даны рекомендации по использованию теоретического материала.

Составители: Сидоров В.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я.

Рецензенты: д.т.н., профессор А.П. Кононенко
к.т.н., доцент Е.В. Ошовская

Ответственный за выпуск:

д. т. н., профессор А. Л. Сотников

Лабораторная работа №1

Тема: Определение вязкости жидких масел

Цель: Определить кинематическую, динамическую и условную вязкость 3-х типов масел.

Оборудование: ротационный вискозиметр для определения динамической вязкости, капиллярный вискозиметр для определения кинематической вязкости, стандартный капилляр для определения условной вязкости, горелка для нагрева масла, сосуд с маслом ВНИИНП-273, сосуд с маслом ИП-1, сосуд с маслом ЛКС-2.

Теоретические сведения

Узлы трения металлургического оборудования смазывают дистиллятными и остаточными минеральными маслами, которые являются продуктами второй и третьей перегонки нефти.

Выбирают масла на основе оценок физико-химических и эксплуатационных свойств. Важнейшее свойство масел – вязкость, которая характеризует внутреннее трение, возникающее между частицами при относительном перемещении их под действием внешней силы.

Различают динамическую, кинематическую и условную вязкость.

Динамическую вязкость оценивают силой, затрачиваемой на перемещение одного слоя масла относительно другого со скоростью 1 м/с , когда площадь каждого слоя равна 1 м^2 , а расстояние между слоями 1 м . Если сила равна 1 Н , то единица динамической вязкости $1\text{ Н}\cdot\text{с/м}^2$.

Кинематическая вязкость – это отношение динамической вязкости к плотности масла. Если плотность масла измеряется в 1 кг/м^3 , то единица кинематической вязкости $1\text{ м}^2/\text{с}$. Для удобства кинематическую вязкость измеряют в $\text{мм}^2/\text{с}$

Условная вязкость представляет собой отношение времени вытекания через стандартный капилляр 200 мл масла при 50 или 100° С ко времени вытекания такого же объема воды при температуре 20° С . Измеряют условную вязкость градусами ВУ_{50} и ВУ_{100} .

Связь между кинематической вязкостью и градусами ВУ можно описать эмпирической формулой:

$$\nu = 730BY - \frac{630}{BY}.$$

Вязкость масел обратно пропорциональна температуре. Это свойство является очень важным с эксплуатационной точки зрения. Неизбежные при работе оборудования колебания температуры приводят к изменению вязкости и скорости износа деталей. Зависимость вязкости масла от температуры нелинейная. В качестве приближенной оценки вязкостно-температурных свойств масел применяют температурный коэффициент вязкости ТКВ, определяемый по формуле:

$$\hat{A} = \frac{\nu_0 - \nu_{100}}{\nu_{50}},$$

где ν_0 , ν_{50} , ν_{100} – кинематическая вязкость масел при температуре 0, 50, 100° С.

Чем меньше значение этого коэффициента, тем выше эксплуатационные качества масла. Вязкость измеряют стандартными приборами – капиллярными вискозиметрами.

Описание лабораторного оборудования

Симулятор холодного вращения (ротационный вискозиметр) – это вискозиметр, специально разработанный для измерения вязкости масел при низких температурах.

Действие ротационного вискозиметра основано на использовании сил вязкостного трения, возникающего в слое жидкости, протекающей в кольцевом зазоре между двумя равномерно вращающимися относительно друг друга цилиндрами. В целях упрощения реальных конструкций вискозиметров обычно вращается только один из цилиндров. Ламинарный характер этого потока нарушается только наличием краевых эффектов, так называемых завихрений Тейлора, возникающих при вращении внутреннего цилиндра и при больших числах Рейнольдса.

Вискозиметры с неподвижным внутренним цилиндром называются кюветными вискозиметрами.

Действие вискозиметра с вращающимся внутренним цилиндром описывается уравнением:

$$\nu = \frac{\dot{M} \cdot (R_a^2 - R_i^2)}{4 \cdot \pi \cdot L \cdot \omega_0 \cdot R_a^2 \cdot R_i^2},$$

где M – крутящий момент;

ω_0 – угловая скорость вращения цилиндра;

L – длина цилиндра;

R_a, R_i – радиусы наружного и внутреннего цилиндров (рис. 1).

Таким образом, динамическая вязкость среды пропорциональна крутящему моменту M .

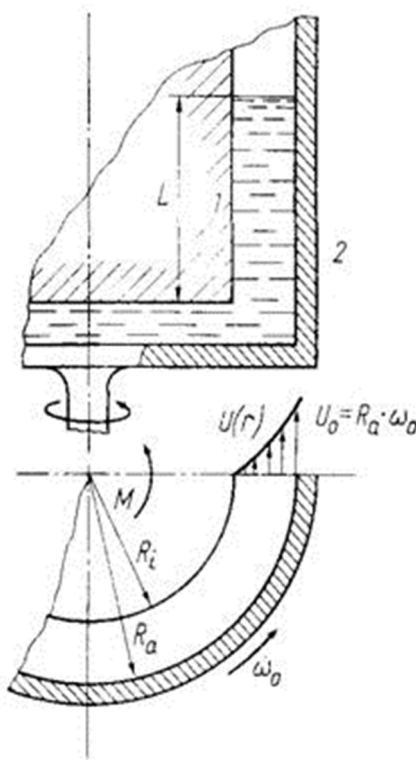


Рис. 1. Принцип действия ротационного вискозиметра (кюветного типа);

1 – неподвижный цилиндр; 2 – вращающийся цилиндр.

При определении кинематической вязкости используется капиллярный вискозиметр. Строение такого вискозиметра может быть различным, но принцип у всех идентичный. Определенное количество масла протекает под силой собственной тяжести при установленной температуре определенный отрезок капилляра. По времени прохождения определяется кинематическая вязкость в квадратных миллиметрах в секунду.

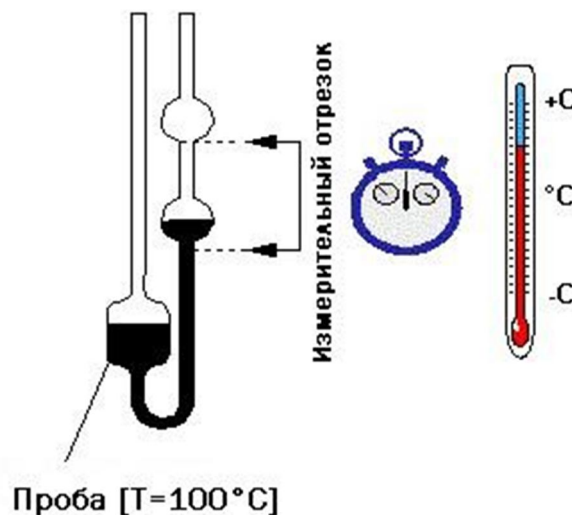


Рис. 2 Прибор для определения кинематической вязкости

Ход работы:

1. Определение динамической вязкости. Заливаем в ротационный вискозиметр каждый образец масла по очереди, включаем вискозиметр и по полученному значению момента рассчитываем значение динамической вязкости. Данные заносим в бланк отчета.
2. Определение кинематической вязкости. Заливаем в капиллярный вискозиметр определенное количество масла каждого образца по очереди и засекаем время, за которое образец протечет определенный отрезок вискозиметра. Данные заносим в бланк отчета.
3. Определение условной вязкости. Отбираем по 200 мл каждого образца масла и нагреваем их до температуры 50° С. Засекаем время истечения каждого образца из капилляра и сравниваем со временем истечения 200 мл воды при температуре 20° С. Данные заносим в бланк отчета.

Бланк отчета к лабораторной работе №1

Образец масла	Динамическая				Кинематическая			Условная		
	L, мм	ω_0 , рад/с	M, Нм	$\nu_{д\gamma}$, Нс/м ²	S, мм ²	t, с	ν_k , мм ² /с	t _м , с	t _в , с	ВУ
ВНИИНП- 273										
ИП-1										
ЛКС-2										

Контрольные вопросы:

1. Виды вязкости промышленных масел.
2. Устройство ротационного вискозиметра.
3. Связь между кинематической и условной вязкостью.

Лабораторная работа №2

Тема: Определение качества смазывания

Цель: Определить качество смазываемого материала на примере промышленного масла ИП-1.

Техническое обеспечение: сосуд с отработанным маслом ИП-1, сосуд со свежим маслом ИП-1, пробирка, горелка, различные реагенты (марганцево-кислый калий, щавелевая кислота $C_2H_2O_4$, фенолфталеин, метилоранж, чистое плоское стекло, фильтрованная бумага).

Теоретические сведения

В процессе контроля проверяют: цвет, содержание водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды.

Визуальный контроль цвета масла. В случае жидкой смазки масло должно иметь цвет свежего масла. Изменение цвета масла указывает на наличие загрязняющих веществ, эмульгирование свидетельствует о наличии в масле воды. Вода в смазке приводит к появлению мутно-белого цвета. Светлые масла рассматриваются в проходящем свете на прозрачность. Для темных масел пробирка с маслом подогревается до 80 °C, потрескивание в ходе нагрева свидетельствует о присутствии воды. Присутствие воды в смазочном материале не приводит к существенному изменению характеристик смазочного слоя, однако возникающие коррозионные процессы провоцируют абразивный износ.

Для определения наличия воды в смазочных материалах используют марганцево-кислый калий. Это вещество не растворяется в нефтепродуктах, но легко растворяется в воде. Окрашивание белой ткани, в которую завернуты кристаллы марганцево-кислого калия, указывает наличие воды.

При определении содержания воды в маслах может быть использовано ее свойство взаимодействовать с гидридом кальция. Реакция идет с

выделением теплоты, то есть экзотермическая. Повышение температуры масла, после добавления в пробу навески гидрида кальция, позволяет определить содержание воды.

Определение общего щелочного числа проводится с использованием в качестве реагента щавелевой кислоты.

Определение содержания водорастворимых кислот и щелочей основано на получении водной вытяжки из масел и определения в ней кислот и щелочей с помощью метилоранжа и фенолфталеина.

Присутствие абразивных механических примесей в маслах определяют пробой на истирание. На чистое плоское стекло наносят несколько капель испытуемого масла и закрывают вторым стеклом. Передвигают стекла одно относительно другого, плотно прижав их пальцами. Если в масле присутствуют абразивные механические примеси, то слышен характерный скрип.

Определение содержания механических примесей в маслах основано на нанесении капли масла на фильтровальную бумагу и сравнении полученных после воздушной сушки пятен с эталоном.

Ход работы:

1. Контроль цвета масла. Отбираем в пробирку пробу масла и оцениваем его цвет; сравниваем с цветом свежего масла.
2. Содержание водорастворимых кислот и щелочей в масле. Отбираем пробу масла и наливаем в нее индикатор метилоранж. Если индикатор поменял цвет на красный, следовательно в масле присутствует кислота, если индикатор изменил цвет на желтый – делаем вывод о наличии щелочи в масле.
3. Определение наличия механических примесей. На фильтрованную бумагу наносим каплю масла, высушиваем и сравниваем образец с эталоном.

4. Определение наличия воды. Заворачиваем в ткань кристаллы марганцево-кислого калия и опускаем в масло. Если ткань окрасится в синий цвет, значит в масле присутствует вода.
5. Выводы о качестве смазывания данным типом масла.

Контрольные вопросы:

1. Для чего проводится контроль смазывания смазочным материалом.
2. Какие критерии характеризуют качество смазывания.
3. Каким образом можно определить наличие в масле водорастворимых кислот и щелочей.

Лабораторная работа №3

Тема: Характеристика продуктов износа промышленных масел.

Цель: Определение состояния оборудования по характеристикам продуктов износа, присутствующих в смазочном материале.

Теоретические сведения:

Размер частиц. Он, как правило, определяется как эквивалент сферической частицы с диаметром в микронах (мкм) и характеризует способность частицы проникать в рабочие зазоры движущихся поверхностей машин. Когда крупные частицы дробятся на более мелкие, они имеют тенденцию быть ближе по размерам к рабочим зазорам машины. Чем ближе размеры частиц к рабочим зазорам, тем больше их попадает в щель. Это приводит к истиранию поверхности или усталости противоположных трущихся поверхностей. Например, одна 40-микронная частица теоретически может быть разбита на 512 отдельных пятимикронных разрушительных частиц.

Площадь поверхности. При дроблении больших частиц на множество более мелких, общая площадь поверхности при контакте с маслом увеличивается многократно. Например, если раздробить крупную частицу на 100 равных кусочков, то получим примерно в 4,5 раза большую межфазную поверхность. В приведенном выше примере, когда 40-микронная частица разбивается на пятимикронные частицы, создается в восемь раз большая площадь поверхности при контакте с маслом. Почему это происходит? Чем больше площадь поверхности по отношению к массе частицы, тем медленнее частица оседает (дольше время пребывания в масле). Чем больше частиц накапливается в масле, тем больше они привлекают и эмульгируют воду, способствует каталитическим реакциям с маслом. Частицы также связывают производительность полярных добавок (например, противоизносных присадок, ингибиторов коррозии и т. п.). Зарождается большое количество пузырьков воздуха и препятствуется их эффективное выделение из масла. Список можно продолжать.

Форма частиц / угловатость. Может показаться, что это не имеет никакого реального значения, но в мире трибологии это находится в центре причин при оценке износа, вызываемого частицами. Сферические частицы, по форме похожие на шарики подшипников, могут вызвать поверхностные углубления, но они с гораздо меньшей вероятностью вырежут или обдерут. С другой стороны, частицы с высокой режущей кольцеобразностью (обладают острыми углами между гранями) имеют намного большую склонность к трехмерной абразивности. (рис. 1).

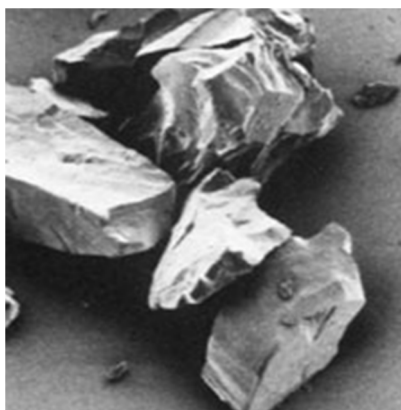


Рисунок 1. Зависимость износа от угловатости частиц

Угловатые частицы, как правило, образуются дроблением (измельчением) крупных частиц на более мелкие частицы (рис. 2). Если сферическая частица была разбита на 100 более мелких частиц, имеющих общую форму куба, это подвергнет скользящую поверхность машины разрушительному действию 800 кольцевых лезвий.

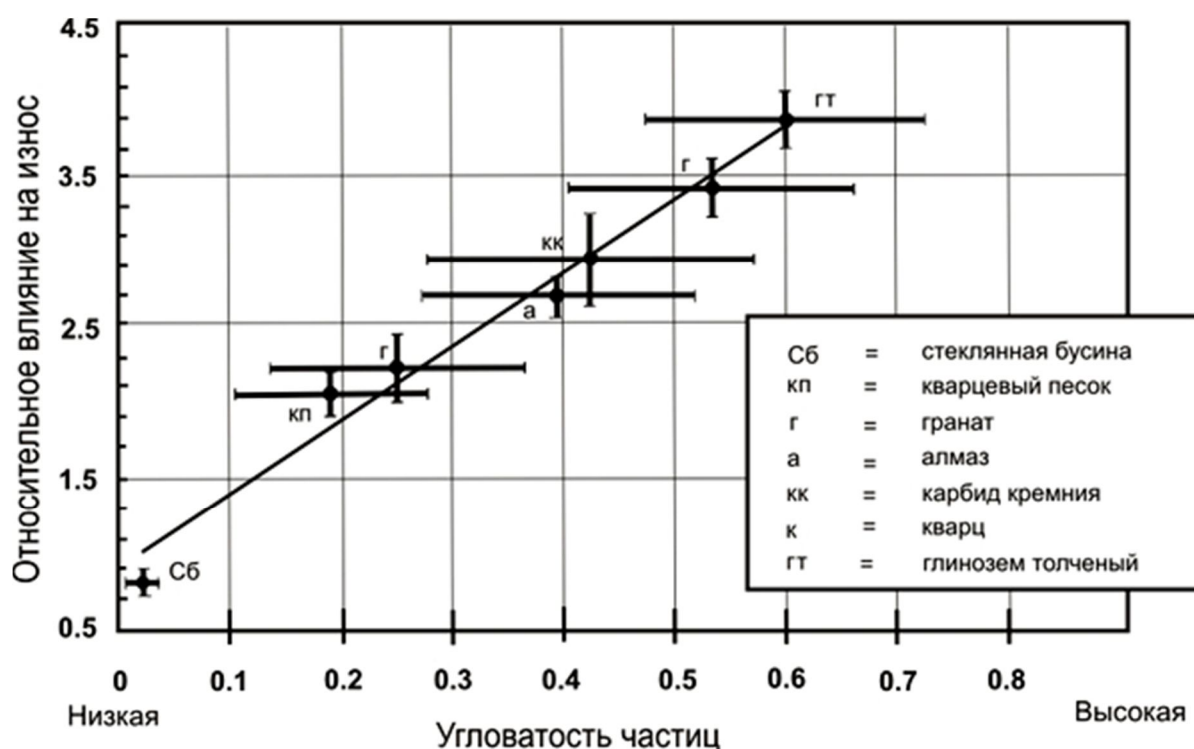


Рисунок 2. Твердые частицы пыли из рудника, карьера или экскаваторного грунта

Твердость. Твердость связана с прочностью частицы на сжатие, то есть ее устойчивостью к деформации (упругой или пластической) или фрагментации путем измельчения. Твердость частицы по отношению к твердости поверхности в значительной степени определяет ее способность

Тип частицы	Типичный Удельный вес	Твердость по Моосу *
Коренная порода и металлическая стружка	6 - 9	3 - 7
Шлифовальная пыль	6 - 9	3 - 7
Абразивы	3 - 6	7 - 9
Грунт	1 - 5	2 - 8
Дорожная пыль (в основном диоксид кремния)	2 - 6	2 - 8
Окалины	5	Не Доступно
Угольная пыль	1,3 - 1,5	Не Доступно
Рудная пыль	Различный	Различный
Древесная масса	0,1 - 1,3	1,5 - 3
РР балластная пыль (известняк)	2,68 - 2,8	5 - 9
Карьерная пыль (известняк)	2,68 - 2,8	5 - 9
Литейная пыль	2,65	7
Волокно	Различный	Различный
Частицы шлака (доменной печи)	2,65	7
Оксиды алюминия	Не Доступно	9
* Шкала твердости Мооса 1-10, алмаз = 10, ноготь = 1		

Таблица 1. Примеры. Твердость частиц и плотность.

вызывать износ и усталость поверхности. Точкой отсчета можно считать твердые частицы обычной почвы, состоящей в основном из частиц кремнезема и глинозема, которые тверже лезвия ножовки (быстрорежущей стали). Только литые керамические поверхности некоторых подшипников имеют ту же твердость. Общая относительная жесткость частиц показана в таблице 1.

Плотность. Плотность или удельный вес влияет на плавучесть частицы в смазочных маслах. Тяжелые частицы будут оседать гораздо быстрее в резервуарах и отстойниках (табл. 1). 20-микронной частице баббита потребуется всего 2,8 минуты для оседания на полдюйма в турбинном масле ISO 22. Тяжелые частицы имеют гораздо больше шансов быть удаленными центробежными сепараторами. Они также более склонны к возникновению эрозии в циркуляционных масляных системах. В них масляные потоки движутся с большой скоростью, отправляя тяжелые и твердые частицы по разрушительным траекториям.

Состав. Хотя обычная пыль известна потенциальной вредностью из-за своей твердости, но она химически инертна. Но частицы износа, порожденные этой пылью, в смазочных маслах далеко не инертны. Это связано с тем, что эти вновь образованные частицы часто состоят из железа, меди и олова. Хотя они менее тверды и абразивны, износ металлов способствует окислению масла, что в свою очередь способствует образованию агрессивных кислот, лаков и шламов.

Проводимость. Теперь, наконец, о положительной характеристике частиц загрязнения. В последние годы электрификация смазочных масел становится все более и более общей проблемой из-за высокой чистоты базовых масел, которые часто используются в рецептурах смазок. Циркуляционное масло может создать статический заряд в масле за счет молекулярного трения. Это может привести к статическому разряду в теле масла и обугливанию масла в дуге разряда. Содержащиеся в масле проводящие частицы эффективно рассеивают заряды, предотвращая повреждение масла от статического разряда. По данным одного исследования, загрязнение частицами эквивалентное ISO 18/15 оказалось достаточным для снятия статического заряда. И наоборот, наращивание статического заряда при низком уровне загрязнения заряженными частицами уровня ИСО 13/10 или чище привело к сильным искровым разрядам.

Количество частиц. Частицы правильного размера, формы и твердости - это потенциально разрушительные контакты случайного неуправляемого действия. Две таких частицы пропорционально умножают риск износа и т.д. На самом деле, общее количество материала легко удаленного с поверхности, может в четыре-десять раз превышать

первоначальный вес частиц. Этот риск является наибольшим для машин, смазанных нефилтрованным рабрызгивающим составом. Нужно также помнить о репродуктивном цикле частиц загрязнения - частицы производят детей (дробятся). Потом эти маленькие разбойники будут вливаться в преступную деятельность, приводя к еще большему износу и деградации смазки. Само собой разумеется, что контроль над ростом населения частиц является одной из основных и эффективных стратегий в стабилизации надежности машины.

Ход работы:

1. Отбираем пробу отработанного масла и характеризуем количество присутствующих частиц, их состав и размер.
2. На фильтрованную бумагу капаем несколько капель масла, высушиваем и характеризуем форму частиц и площадь их поверхности.
3. С помощью таблицы 1 определяем плотность и твердость продуктов износа.
4. Делаем вывод о состоянии оборудования, которое смазывалось данным материалом.

Контрольные вопросы:

1. Влияние размера частиц продуктов износа на состояние оборудования.
2. На сколько частиц, теоретически, может быть разбита частица размером 40 мкм.
3. Характеристика проводимости частиц.

Лабораторная работа №4

Тема: Определение температурных границ применения.

Цель: Определить температурные границы применения 3-х типов масел.

Оборудование: сосуд для нагревания масла, горелка, пробирка для определения температуры застывания, термометр, спички, сосуд с маслом ВНИИНП-273, сосуд с маслом ИП-1, сосуд с маслом ЛКС-2.

Теоретические сведения:

- 1) температура вспышки – температура, при которой пары масла образуют горючую смесь с окружающим воздухом и происходит вспышка;
- 2) температура воспламенения – температура, при которой масло загорается и горит не менее 5 секунд;
- 3) температура застывания – температура, при которой масло теряет свойства текучести и приобретает свойство пластичной смазки.

Ход работы:

1. Определение температуры вспышки. В сосуд наливаем исследуемый образец масла и ставим его на горелку (рис. 1). Вносим в сосуд спичку и фиксируем температуру, при которой происходит ее воспламенение, записываем ее в бланк отчета. Опыт повторяем для 2-х остальных образцов.

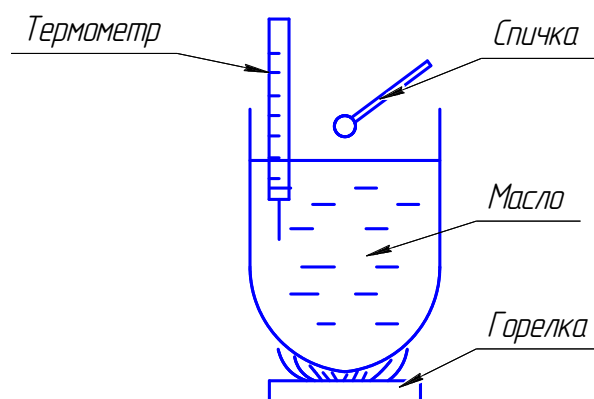


Рис. 1 Определение температуры вспышки

2. Определение температуры воспламенения. Опыт проводим аналогично пункту 1, но фиксируем уже температуру воспламенения масла (рис. 2), записываем ее в бланк отчета. Опыт повторяем для 2-х остальных образцов.

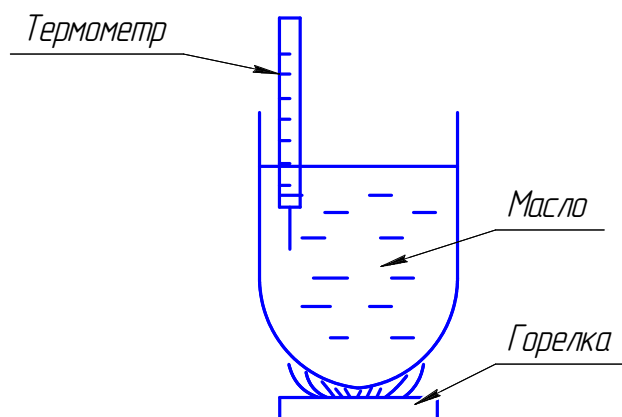


Рис. 2 Определение температуры воспламенения

3. Определение температуры застывания. В пробирку наливаем образец масла и охлаждаем, затем наклоняем пробирку на угол 45° (рис. 3). Если в течение минуты верхняя граница масла не меняет своего положения, фиксированная температура является температурой застывания. Опыт повторяем для 2-х оставшихся образцов. Данные заносим в бланк отчета.

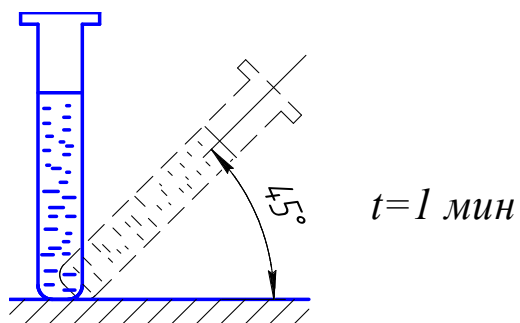


Рис. 3 Определение температуры застывания

4. Сделать выводы о температурных областях применения 3-х типов масел.

Контрольные вопросы:

1. Чем можно фиксировать температуру масла кроме термометра.
2. Рабочая температура масла
3. Как определяется температура вспышки.

Бланк отчета к лабораторной работе №4

	ВНИИ НП-273	ИП-1	ЛКС-2
Температура вспышки			
Температура воспламенения			
Температура застывания			