

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Основы проектирования машин»

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки 15.03.03
«Прикладная механика» очной формы обучения*



Могилев 2026

УДК 621.891
ББК 34.44
С50

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Основы проектирования машин» «17» марта 2026 г.,
протокол № 9

Составитель канд. техн. наук О. В. Благодарная

Рецензент ст. преподаватель О. А. Пономарева

В методических рекомендациях изложены цели, содержание и порядок
выполнения лабораторных работ.

Учебное издание

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ответственный за выпуск	А. П. Прудников
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2026

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Измерение коэффициента трения.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Оценка срока смены отработавшего масла.....	8
3 Лабораторная работа № 3. Определение температуры каплепадения пластичной смазки.....	10
4 Лабораторная работа № 4. Определение пенетрации консистентных смазок	12
5 Лабораторная работа № 5. Определение динамической вязкости масла.....	15
Список литературы.....	18

Введение

Методические рекомендации составлены в соответствии с учебной программой по дисциплине «Смазочные материалы» для студентов направления подготовки 15.03.03 «Прикладная механика» очной формы обучения.

Целью изучения дисциплины «Смазочные материалы» является формирование у студентов комплекса знаний и навыков по обеспечению высокой работоспособности и сохранности машин, механизмов и технологического оборудования.

Эксплуатация современной техники невозможна без квалифицированного и тщательного технического обслуживания, фундаментальной частью которого является своевременная и правильная замена смазочных материалов.

Правильный выбор и рациональное использование эксплуатационных материалов во многом определяют надежность и долговечность техники, затраты на ее обслуживание и ремонт. Ошибка при выборе смазочного материала может привести в лучшем случае к сокращению срока службы механизма, в худшем – к его поломке [1].

В краткой форме изложены цель, содержание и порядок выполнения лабораторных работ.

Целью методических рекомендаций является помощь студентам для самостоятельной подготовки к лабораторным работам по дисциплине «Смазочные материалы».

1 Лабораторная работа № 1. Измерение коэффициента трения

Цель работы: используя методы планирования эксперимента, поставить двухфакторный эксперимент по определению условного момента трения в подшипниках качения в зависимости от радиальной нагрузки и частоты вращения внутреннего кольца.

Теоретические основы

Момент трения при качении зависит от ряда факторов, в частности, от нагрузки, воспринимаемой подшипником, частоты вращения одного из колец и количества смазки. При определенных условиях эксплуатации, когда подшипник воспринимает нагрузку, составляющую 10 % величины его динамической грузоподъемности, и правильно выбранной смазке можно с достаточной степенью точности (при других условиях точность снижается) определить величину момента трения, используя постоянные коэффициенты трения μ_T , по формуле

$$T = \mu_T \cdot P_r \cdot \frac{d}{2}, \quad (1.1)$$

где μ_T – коэффициент трения;

P_r – динамическая эквивалентная нагрузка на подшипник, Н;

d – внутренний диаметр подшипника, мм.

При отсутствии осевых нагрузок для радиальных и радиально-упорных подшипников $P_r = F_r$, где F_r – радиальная нагрузка, Н.

Для радиальных и радиально-упорных подшипников эквивалентная динамическая нагрузка – это такая постоянная радиальная нагрузка, при которой долговечность подшипника будет такая же, как и при фактических условиях нагружения и вращения.

Между эквивалентной динамической нагрузкой P_r и базовой долговечностью подшипника L_{10} в миллионах оборотов внутреннего кольца существует эмпирическая зависимость

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^p, \quad (1.2)$$

где C_r – базовая динамическая грузоподъемность подшипника, Н;

p – показатель степени ($p = 3$ для шарикоподшипников, $p = 10/3$ для роликоподшипников).

При $L_{10} = 1$ млн оборотов $C_r = P_r$.

Таким образом, базовая динамическая грузоподъемность – это такая постоянная радиальная нагрузка, которую подшипник с неподвижным наружным кольцом сможет выдержать в течение 1 млн оборотов внутреннего кольца. Считается при этом, что вероятность безотказной работы подшипника до начала

появления первых признаков усталости металла равна 90 %.

При известных частоте вращения подшипника n , об/мин, и сроке службы в часах L_h число его оборотов $L = 6 \cdot 10^{-5} \cdot n \cdot L_h$ млн оборотов. Следовательно, зная тип подшипника, условия его работы, срок службы и частоту вращения, можно с учетом выражений определить допускаемую радиальную нагрузку $[F_r]$ на подшипник, что необходимо для подготовки лабораторной установки к работе.

$$[F_r] = \frac{C_r}{\sqrt[p]{L}}. \quad (1.3)$$

Планирование эксперимента применяется для повышения эффективности экспериментальных исследований, сокращения сроков эксперимента, повышения достоверности выводов по результатам исследований.

Описание лабораторной установки

Кинематическая схема установки представлена на рисунке 1.1.

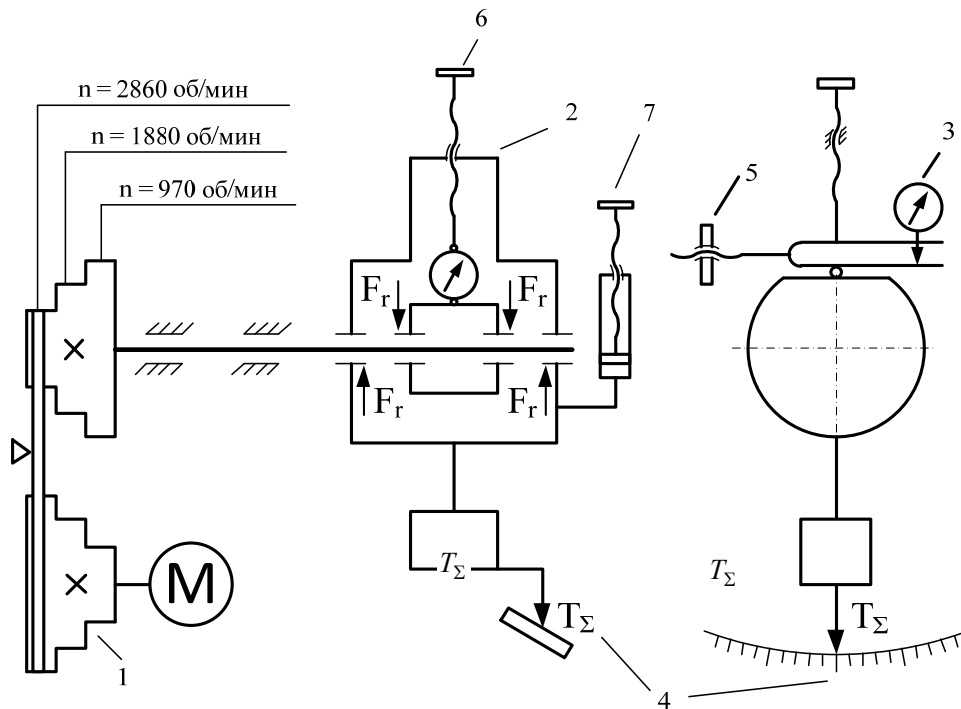


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема установки

Радиальная нагрузка на подшипники испытательной головки создается винтом $б$ через динамометрическую пружину и фиксируется по индикатору часового типа.

Изменение частоты вращения вала достигается перестановкой ремня клиноременной передачи 1 на ступенчатых шкивах, при этом можно получить частоты вращения 970, 1880 и 2860 об/мин.

Для установки стрелки указателя момента трения на шкале 4 в нулевое по-

ложение служит уравнивающим груз 5.

В комплект установки входят четыре испытательные головки с подшипниками 208, 308, 1208, 7208.

Порядок выполнения работы

Проводим двухфакторный эксперимент. Первый фактор – частота вращения внутреннего кольца подшипника, второй фактор – радиальная нагрузка на подшипник. Смонтировать на валу установки одну из четырех испытательных головок, которыми укомплектована установка. Для подшипников, с которыми будет выполняться работа, выписать технические характеристики (размеры, динамометрическую и статическую грузоподъемности).

Задаться желаемым сроком службы подшипника в пределах от 5000 до 15000 ч и, используя зависимость (1.3), определить радиальную нагрузку на подшипник, т. е. усилие затяжки нагруженного винта (в соответствии со схемой на рисунке 1.1).

Определить значение факторов на верхнем и нижнем уровнях. Значение первого фактора на нижнем уровне составляет 1/4 от усилия затяжки винта, а на верхнем – равно этому усилию, значение второго фактора на верхнем и нижнем уровнях принимается в соответствии с данными, приведенными на рисунке 1.1.

Используя рассчитанные значения верхнего и нижнего уровней факторов, составить матрицу планирования эксперимента в виде таблицы 1.1.

Таблица 1.1 – Матрица планирования эксперимента

Испытание	Первый фактор	Второй фактор
1	+	–
2	–	–
3	+	+
4	–	+

Провести четыре испытания подшипника в соответствии с принятым планом эксперимента. Определить среднее арифметическое значение суммарного момента трения. Используя зависимость (1.1), рассчитать значение момента трения и сравнить полученное значение со средним арифметическим значением суммарного момента трения.

Вопросы для самоконтроля

- 1 От чего зависит момент трения при качении?
- 2 Что такое эквивалентная динамическая нагрузка?
- 3 Что такое динамическая грузоподъемность?
- 4 Каковы этапы планирования эксперимента?
- 5 Как устроен испытательный стенд?

2 Лабораторная работа № 2. Оценка срока смены отработавшего масла

Цель работы: получить навыки оценки срока смены масла по методу масляного пятна.

Теоретические основы

Срок смены отработавшего масла является важным эксплуатационным показателем, характеризующим своего рода «запас» служебных свойств смазочного материала (в основном, моюще-диспергирующих свойств): чем продолжительнее срок смены, тем больший период работы масло сохраняет свои свойства. Точное определение срока смены масел – очень сложная и до конца не решенная к настоящему времени задача. Поэтому для определения срока смены масла используют приближенные экспериментальные методы. Один из самых простых методов состоит в визуальной оценке масляного пятна на фильтровальной бумаге после нагрева последней до характерной предельной температуры работоспособности масла. Сущность метода состоит в различной диффузии компонентов масла через фильтровальную бумагу. Данный метод пригоден для отработавших масел без следов воды.

Описание лабораторной установки

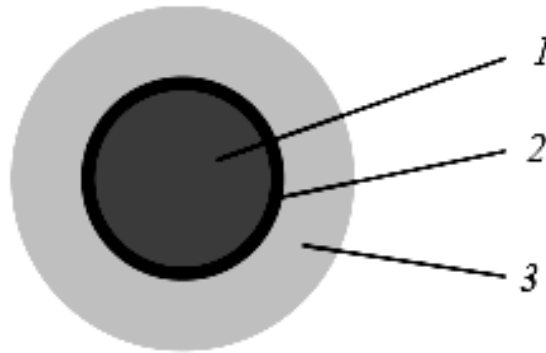
Сушильный шкаф, фарфоровый тигель, пипетка, фильтровальная бумага марки «синяя лента».

Порядок выполнения работы

Отработавшее масло тщательно перемешивают, берут пипеткой пробу масла и наносят каплю на листок фильтровальной бумаги. Последнюю кладут на тигель и помещают в разогретый до 200 °С сушильный шкаф. По истечении 10 мин тигель с бумагой вынимают для осмотра пятна.

По внешнему виду пятна масла в характерных зонах (рисунок 2.1) при сопоставлении с данными таблицы 2.1 пятну присваивают оценочный балл от 1 до 9.

Полному срабатыванию моюще-диспергирующей присадки соответствует оценка от 7 до 9 баллов. Такое отработавшее моторное масло считается подошедшим к сроку смены. При соответствии пятна баллам от 1 до 6 отработавшее масло признается не достигшим срока смены.



1 – центральная зона (распływ капли); 2 – кольцевая зона (нерастворимые в масле продукты); 3 – диффузионная зона (частицы, прошедшие фильтр)

Рисунок 2.1 – Хроматограмма пятна отработанного масла

Таблица 2.1 – Шкала оценки капельной пробы

Зона	Балл								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Светло-серый, белый	Светло-серый	Серый	Темно-серый	Черный	Черный, глянцевый	Черный, слабо глянцевый	Очень черный	Очень черный, глянцевый
2	Серый	Серый, темно-серый	Темно-серый	Темно-серый, черный	Черный	Черный	Черный	Черный	Черный
3	Светло-серый	Серый	Серый, темно-серый	Темно-серый	Темно-серый, черный	Темно-серый, черный	Темно-серый, черный	Темно-серый, черный	Отсутствует

Вопросы для самоконтроля

- 1 Чем вызвана необходимость смены масла в эксплуатации?
- 2 На каком физическом явлении основан метод оценки срока смены масла по пятну капельной пробы?
- 3 Сколько баллов по шкале оценки капельной пробы означает необходимость смены масла?

3 Лабораторная работа № 3. Определение температуры каплепадения пластичной смазки

Цель работы: получить навыки определения температуры каплепадения пластичной смазки.

Теоретические основы

Пластичные смазки по служебным свойствам занимают промежуточное место между жидкими и твердыми смазочными материалами. Пластичная смазка состоит как бы из двух компонентов: структурного каркаса загустителя (дисперсной фазы) и жидкого масла, включенного в ячейки этого каркаса (дисперсной среды). В рабочем состоянии для выполнения своих функций пластичная смазка не должна распадаться на компоненты (должна сохранять коллоидную стабильность). Одной из основных причин перехода пластичной смазки в жидкое состояние является чрезмерный нагрев. Поэтому при практическом применении пластичных смазок важно знать их температурную стойкость, т. е. ту температуру, при которой пластичная смазка переходит в жидкое состояние. Температурой каплепадения называют температуру, при которой происходит первое падение капли, т. е. смазка из мазеобразного состояния переходит в жидкое. Пластичную смазку можно применять до температурного порога, при котором температура узла трения остается на 15 °С...20 °С ниже температуры каплепадения.

Описание лабораторной установки

Установка включает в себя термометр 1, пробирку 2, капсуль 3, стакан с жидкостью 4, штатив с нагревателем (рисунок 3.1). Для тестирования низко- и среднеплавких смазок в качестве жидкости используют воду.

Порядок выполнения работы

Перед началом работы капсуль 3 вынимают и заполняют исследуемой пластичной смазкой. Затем устанавливают капсуль на прежнее место. Пробирку 2 помещают в стакан с жидкостью 4. Жидкость нагревают до появления и падения первой капли из капсуля 3 на дно пробирки 2. В протоколе испытаний (таблица 3.1) фиксируют температуру каплепадения по показанию термометра 1.

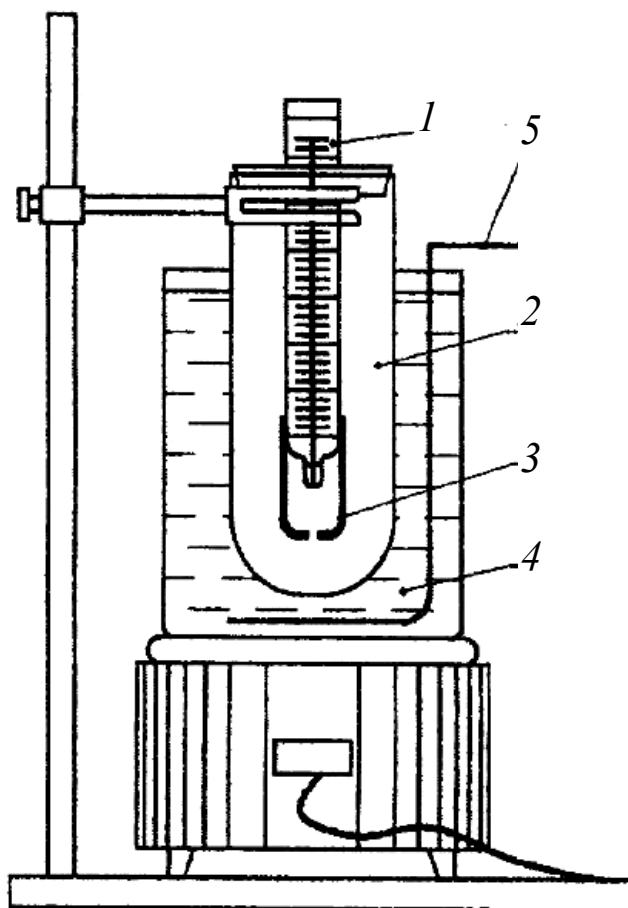


Рисунок 3.1 – Установка для определения температуры каплепадения смазки

Таблица 3.1 – Протокол испытаний

Марка смазки	Температура каплепадения

Вопросы для самоконтроля

- 1 Назовите структурный состав пластичных смазок.
- 2 Дайте определение температуре каплепадения пластичных смазок.
- 3 Каково практическое использование знания температуры каплепадения смазки?

4 Лабораторная работа № 4. Определение пенетрации консистентных смазок

Цель работы: получить навыки определения пенетрации консистентных смазок.

Теоретические основы

Пенетрацией называют величину, показывающую, на какую глубину погружается в испытуемую смазку конус стандартного прибора за 5 с.

Число пенетрации численно равно глубине погружения конуса прибора, выраженной в десятых долях миллиметра. Пенетрация – показатель условный, не имеющий физического смысла, и не определяет поведение смазок в эксплуатации. В то же время, т. к. этот показатель быстро определяется, им пользуются в производственных условиях для оценки идентичности рецептуры и соблюдения технологии изготовления смазок.

Смазки по величине пенетрации разделяют на девять классов (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Классификация пластичных смазок по величине пенетрации

Пенетрация при 25 °С, ед.	Индекс класса консистенции
400...430	00
355...385	0
310...340	1
265...295	2
220...250	3
175...205	4
130...160	5
85...115	6
Ниже 70	7

Пенетрация условно характеризует способность смазки сопротивляться выдавливанию из узла трения, а также определяет легкость подачи смазки в узел трения. Поэтому для зимнего периода эксплуатации берут смазки с большим значением пенетрации (250...350 ед.), чем для лета (150...250 ед.).

Число пенетрации характеризует густоту смазок. Чем выше число пенетрации, тем мягче смазка, и наоборот. Пенетрация определяется в приборе, называемом пенетрометром.

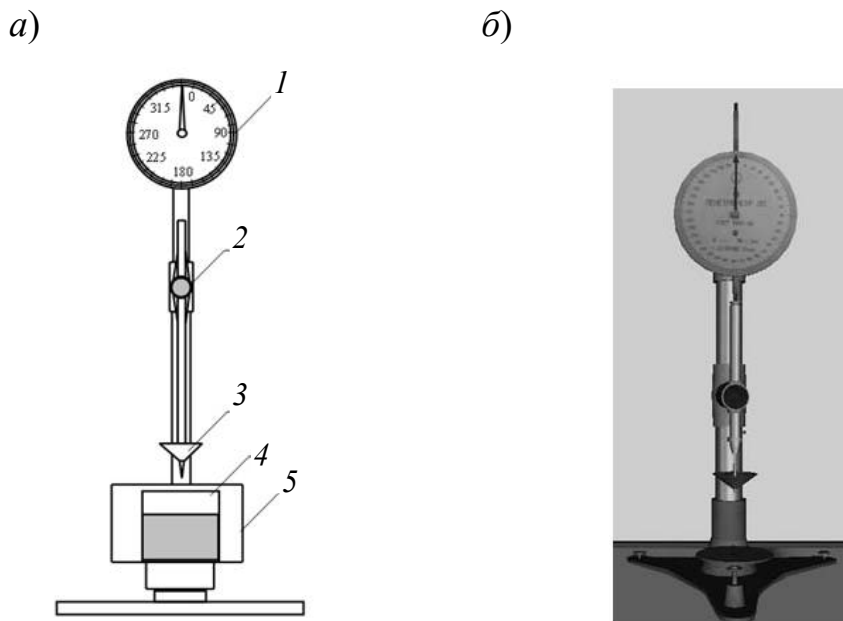
Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на ПЭВМ. Для работы применяются следующие клавиши:

- W, S, A, D – для перемещения в пространстве;
- F2, E – аналоги средней клавиши манипулятора (при первом нажатии берется объект, при последующем – ставится);
- Ctrl – присесть;
- F10 – выход из программы;
- левая клавиша мыши – при нажатии и удерживании обрабатывается (поворачивается, переключается) тот или иной объект;
- средняя клавиша – при первом нажатии (прокрутка не используется) берется объект, при последующем нажатии – ставится (прикрепляется);
- правая клавиша – появляется курсор-указатель (при повторном – исчезает). При появившемся курсоре невозможно перевести взгляд вверх и стороны.

Сущность определения пенетрации заключается в измерении при определенной температуре глубины проникновения в смазку стандартного конуса массой в 100 г под действием собственного веса. Внутренняя чаша должна быть заполнена смазкой доверху. Поверхность смазки должна быть равномерно распределена по всей внутренней чаше и выровнена шпателем. Конус обязательно должен быть очищен от смазки, оставшейся после предыдущих опытов.

Схема пенетрометра приведена на рисунке 4.1, а. Стрелка прибора на шкале 1 устанавливается на отметку «0». Чаша прибора 4 вращением механизма 5 поднимается так, чтобы конус прибора 3 касался поверхности смазки.



1 – шкала прибора; 2 – кнопка; 3 – конус прибора; 4 – чаша со смазкой; 5 – механизм вращения чаши

Рисунок 4.1 – Пенетрометр

Затем в течение 5 с нажимается кнопка 2 и по шкале 1 определяется пенетрация испытуемой смазки (рисунок 4.2).

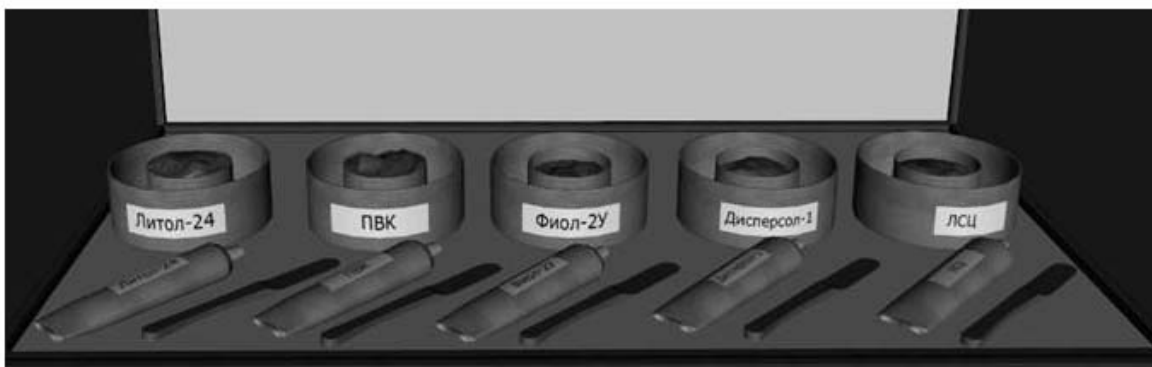


Рисунок 4.2 – Чашы, заполненные испытываемыми смазками

Порядок выполнения работы

1 Достаньте из шкафа чашу со смазкой, тубик с той же смазкой, шпатель для разравнивания и переместите их на стол. Тубики брать в порядке их расположения (слева направо).

2 Визуально убедитесь, что смазка полностью заполняет чашу. Если заполняет не полностью, то открутите колпачок с тубика, возьмите его в руки и примените к чаше. Далее разровняйте смазку шпателем, также применив его к чаше.

3 Установите чашу на прибор. Поворачивая чашу, выкрутите механизм поднятия чаши, до соприкосновения смазки с конусом.

4 Нажмите на кнопку. При этом в течение 5 с произойдет опускание конуса в смазку. Стрелка шкалы прибора покажет число пенетрации.

5 Затем поднимите конус за ось, связанную с ним, до показания шкалы «0». Скрутите чашу, поставьте ее на стол и при помощи шпателя разровняйте смазку и повторите с ней опыт не менее четырех раз. Те же действия проведите с остальными смазками.

По полученным результатам измерений найдите среднее арифметическое значение и сравните с ним все отсчеты. Во внимание принимаются только те отсчеты, которые отличаются от среднего арифметического не более чем на $\pm 3\%$. При расхождении результатов отсчетов на большее значение, измерения повторяют. Результаты измерений сводятся в таблицу 4.2.

В итоге делается вывод о густоте исследуемой смазки, соответствии ее стандартным значениям и возможности применения в соответствующих узлах трения.

Таблица 4.2 – Результаты определения пенетрации

Номер опыта	Значение пенетрации	Среднеарифметическое значение пенетрации по результатам опытов	Пенетрация по ГОСТ

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что такое пенетрация?
- 2 Как определяют значение пенетрации?
- 3 Как связаны область применения масла с индексом его класса консистенции?

5 Лабораторная работа № 5. Определение динамической вязкости масла

Цель работы: изучить зависимость вязкости масла от температуры и определить индекс вязкости масла.

Теоретические основы

Вязкость является одним из основных параметров, характеризующих эксплуатационные свойства моторных масел.

Вязкость масел при понижении температуры возрастает, а при повышении – снижается. Особенно быстро вязкость изменяется при низких температурах. Чем более полого протекает вязкостно-температурная кривая, называемая вязкостно-температурной характеристикой масла, т. е. чем меньше изменяется вязкость при изменении температуры, тем лучше будут эксплуатационные качества масла [1].

Вязкостно-температурные свойства масел нормируются по стандарту величиной кинематической вязкости при 100 °С и максимально допустимым отношением кинематической вязкости при 50 °С к кинематической вязкости при 100 °С.

Различают кинематическую и динамическую вязкости жидкостей.

Кинематическая вязкость – это мера внутреннего сопротивления при движении жидкости в поле силы тяжести.

Динамическая вязкость характеризует меру сопротивления движению жидкости в поле внешних сил.

Кинематическая вязкость ν связана с динамической μ следующим соотношением:

$$\nu = \mu / \rho, \quad (5.1)$$

где ρ – плотность жидкости.

Размерность кинематической вязкости – сантистокс. Размерность динамической вязкости – сантипуаз.

Описание лабораторной установки

Вискозиметр ротационный В-ONE PLUS используется для определения вязкости веществ, т. е. их свойства оказывать сопротивление течению.

Вискозиметр оснащен двигателем постоянного тока и обеспечивает высокую точность скорости вращения датчика во всем диапазоне крутящего момента.

Прибор оснащен сенсорным экраном с простым интерфейсом, где отображается скорость, измерительный шпиндель, измеренный крутящий момент и динамическая вязкость в сантипуазах.

Прежде чем приступать к измерению, необходимо установить измерительную систему и образец (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Вискозиметр ротационный В-ONE PLUS

Для подготовки испытуемого образца заполните стакан измеряемым маслом. Следите за тем, чтобы не образовывались пузырьки воздуха. Поместите его в нагреваемую ванну с водой на достаточное количество времени для достижения требуемой температуры. Измерение температуры производится с помощью пирометра.

Выбор измерительного шпинделя зависит от вязкости, которую требуется измерить:

- для измерения веществ низкой вязкости выберите ASTM R2 и запустите прибор на высокой скорости, например, 100 об/мин;
- для измерения веществ высокой вязкости выберите ASTM R7 и запустите прибор на низкой скорости, например, 1 об/мин.

Для подготовки вискозиметра установите измерительную голову в самое верхнее положение, а вискозиметр – на нуль. Вставьте измерительную систему с байонетным соединением (рисунок 5.2) в вал двигателя.

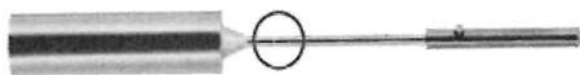


Рисунок 5.2 – Измерительная система

Отрегулируйте положение вискозиметра, чтобы погрузить съемную часть до заданной отметки. Кончик съемной части должен находиться на уровне не менее 10 мм от дна стакана.

Для проведения измерений нажмите на вкладку Measure («Измерение»), после чего отобразится окно для проведения измерений. Выбираются параметры измерения, такие как Measuring System («Измерительная система»), Speed or shear rate («Скорость или скорость сдвига»), Time of measurement («Время измерения»).

После выполнения настроек нажмите клавишу Start («Пуск»), чтобы начать измерение. Во время измерения на экране будет отображаться датчик крутящего момента. Значения крутящего момента не должны приближаться слишком близко к верхнему и нижнему пределу. При приближении к нижнему пределу увеличьте скорость или выберите большую измерительную систему. Если показание крутящего момента приблизилось к верхнему пределу, уменьшите скорость или выберите меньшую измерительную систему.

Когда измерение завершено, отобразятся окна со всеми данными, необходимыми пользователю. Их можно сохранить во внутренней памяти прибора.

После завершения измерения поднимите измерительную голову и закрепите ее винтом на алюминиевом кронштейне. Снимите измерительный шпиндель для его очистки.

Порядок выполнения работы

Нагрейте воду до требуемой температуры и поддерживайте ее постоянной в течение 5...10 мин, чтобы масло в колбе, находящееся в водяной бане, приняло температуру воды. Измерение температуры проводите пирометром.

Начните измерение динамической вязкости на необходимой скорости. Полученное значение переведите в кинематическую вязкость по формуле (5.1).

Измерение вязкости необходимо провести при температурах 20 °С, 50 °С и 100 °С.

По полученным значениям кинематической вязкости при температурах 20 °С, 50 °С и 100 °С постройте график (вязкостно-температурную характеристику), откладывая по оси абсцисс температуру, а по оси ординат – вязкость.

Определите отношение v_{50}/v_{100} .

По номограмме (рисунок 5.3) определите индекс вязкости масла.

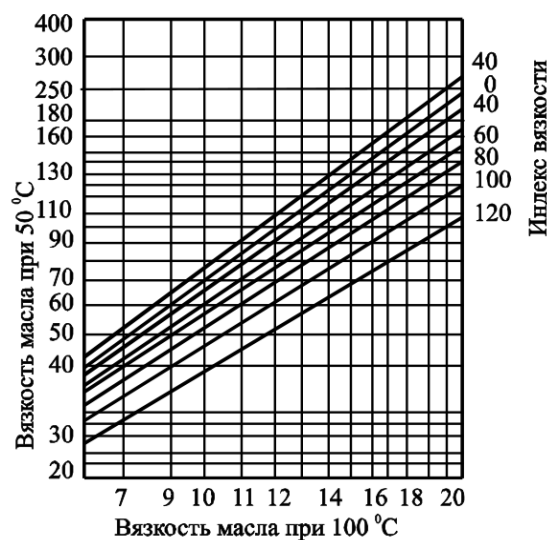


Рисунок 5.3 – Номограмма для определения индекса вязкости масла

Вопросы для самоконтроля

- 1 Дайте определение вязкости.
- 2 Чем кинематическая вязкость отличается от динамической?
- 3 В чем измеряется кинематическая и динамическая вязкость?
- 4 Опишите принцип работы лабораторной установки.

Список литературы

- 1 **Богданович, П. Н.** Трение, смазка и износ в машинах : учебник / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак, С. П. Богданович. – Мн. : Тэхналогія, 2011. – 527 с.
- 2 **Иванов, М. Н.** Детали машин : учебник / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – 16-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2018. – 409 с. : ил.