

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (МГТУ ГА)»**

---

**Кафедра авиатопливообеспечения и ремонта летательных  
аппаратов**

**К.И. Грядунов, Т.М. Маслова**

# **ХИММОТОЛОГИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ГСМ**

**АВИАЦИОННЫЕ МАСЛА, СМАЗКИ,  
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЖИДКОСТИ**

**Учебно-методическое пособие  
по выполнению лабораторных работ**

*для студентов  
направления 25.03.01  
всех форм обучения*

Москва  
2019

ББК 052-082-32

Г-92

Рецензент:

*Самойленко В.М.* – д-р техн. наук, профессор

**Грядунов К.И.**

Г-92 Химмотология и контроль качества ГСМ. Авиационные масла, смазки, специальные жидкости: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ./ К.И. Грядунов, Т.М. Маслова. – Воронеж: ООО «МИР», 2019. – 52 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Химмотология и контроль качества ГСМ» по учебному плану для студентов направления 25.03.01 всех форм обучения.

В учебно-методическом пособии представлены лабораторные работы по определению основных показателей качества авиационных горюче-смазочных материалов в соответствии с требованиями современных нормативных документов и с применением необходимого оборудования. Преимущественно уделяется внимание показателям, оказывающим существенное влияние на эксплуатационные свойства авиационных ГСМ.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 12.02.2019 г. и методического совета 04.02.2019 г.

*В авторской редакции*

Подписано в печать 12.03.2019 г.

Формат 60x84/16 Печ.л. 3 Усл. печ. л. 3,49

Заказ 421/090440 Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА  
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20

Отпечатано ООО «МИР»

394033, г. Воронеж, Ленинский пр-т 119А, лит. Я, оф. 215

**Содержание**

Лабораторная работа № 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ.....	4
Лабораторная работа № 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ.....	11
Лабораторная работа № 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ .....	15
Лабораторная работа № 15. ОЦЕНКА СОСТАВА ЧАСТИЦ ИЗНАШИВАНИЯ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ НА АДК «ПРИЗМА».....	19
Лабораторная работа № 16. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ВОДЫ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ .....	24
Лабораторная работа № 17. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ .....	27
Лабораторная работа № 18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ.....	30
Лабораторная работа № 19. ПЕНЕТРАЦИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК... ..	36
Лабораторная работа № 20. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПВКЖ В ТОПЛИВАХ.....	42
Лабораторная работа № 21. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ПВКЖ «И-М».....	46
Рекомендуемая литература .....	48

## Лабораторная работа № 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ

Цель работы:

- изучить эксплуатационное свойство ГСМ – вязкость;
- знать влияние реологических характеристик жидкостей на эксплуатацию летательных аппаратов и двигателей;
- уметь определять реологические характеристики жидких авиационных ГСМ в соответствии с ГОСТ 33768-2015.

### 1. Теоретическое введение

Одной из наиболее характерных особенностей жидкостей является их способность изменять форму под действием внешних сил. Это свойство жидкостей объясняется легкой подвижностью (скольжением) ее молекул относительно друг друга.

*Вязкостью или внутренним трением называют свойство жидкости сопротивляться взаимному перемещению ее слоев (молекул) относительно друг друга, вызванному действием внешней силы.* Естественно, что одна и та же сила создает в разных жидкостях разные скорости перемещения слоев, отстоящих один от другого на одинаковых расстояниях.

Для нормальных (ньютоновских) жидкостей, представляющих собой индивидуальные вещества, молекулярно-дисперсные смеси или растворы, внутреннее трение – вязкость – при данной температуре и давлении является постоянной величиной.

Вязкость жидкости характеризуется величиной, входящей в формулу Ньютона для расчета силы трения в виде коэффициента  $\eta$ . Эта величина называется *динамической вязкостью* и измеряется в единицах Пз (Пуаз). 1 Пз = 0,1 Па·с.

$$F_{\text{ж.т.}} = \eta \cdot S \cdot \frac{dv}{dx}, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь соприкосновения молекул, м<sup>2</sup>;

$\frac{dv}{dx}$  – градиент скорости по направлению.

Термин «динамическая вязкость» соответствует физическому смыслу  $\eta$ , т. к.  $\eta$  входит в качестве коэффициента пропорциональности в уравнение зависимости силы жидкостного трения от площади перемещаемых слоев жидкости и градиента скорости.

Впервые формулировка динамической вязкости была введена врачом Пуазейлем в 1842 году при изучении процесса циркуляции крови в кровеносных сосудах. За единицу динамической вязкости  $\eta$  принимают силу сопротивления, которую жидкость оказывает при относительном движении двух слоев площадью 1 м<sup>2</sup>, отстоящих друг от друга на расстоянии 1 м, под влиянием силы 1 Н, при скорости перемещения 1 м/с.

Кроме динамической вязкости в технических науках для удобства проведения расчетов (приведения размерностей) используется понятие «кинематическая вязкость». **Кинематическая вязкость является мерой сопротивления течению жидкости под влиянием силы тяжести.**

Кинематическая вязкость есть отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности при той же температуре:

$$\vartheta = \frac{\eta}{\rho}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость жидкости, Пз;

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Размерность кинематической вязкости в системе СИ [м<sup>2</sup>/с]. Также для удобства в технике используется размерность Ст (Стокс) = 10<sup>-4</sup> м<sup>2</sup>/с и сСт (сантиСтокс) = 10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с (мм<sup>2</sup>/с).

В условиях жидкостной смазки, когда трущиеся пары разделены слоем смазки, действует закон трения, описываемый крайне удобной формулой Петрова (3).

$$F = \vartheta \cdot \frac{\rho \cdot V}{h} \cdot S, \quad (3)$$

где F – сила жидкостного трения;

$\vartheta$  – кинематическая вязкость масла;

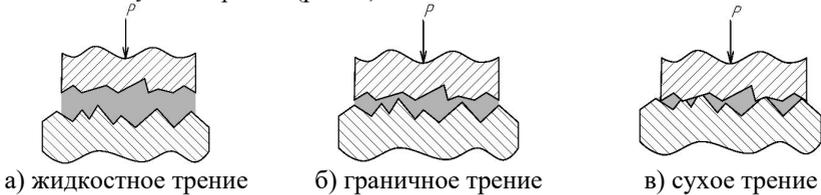
V – линейная скорость перемещения трущихся поверхностей;

S – площадь соприкосновения трущихся тел;

h – толщина масляного слоя.

Из формулы (3) следует, что повышение вязкости масла приводит к повышению потерь мощности на трение. Т. к. при повышении силы трения, температура масла возрастает и вязкость уменьшается, то при жидкостной смазке узел трения работает в условиях вязкостно-температурного саморегулирования. Это означает, что уменьшение вязкости приводит к уменьшению зазора h, и, напротив, уменьшение числа оборотов, уменьшает силу трения F, приводя к повышению вязкости за счет снижения температуры и увеличения толщины масляной пленки в узле трения.

С точки зрения химмотологии выделяют понятия *жидкостного, граничного и сухого трения* (рис. 1).



**Рис. 1.** Виды трения

*Жидкостным* называется такое трение, при котором трущиеся поверхности отделены друг от друга разделительным слоем смазочного материала достаточной толщины (4-8 мкм). В этом случае трение происходит

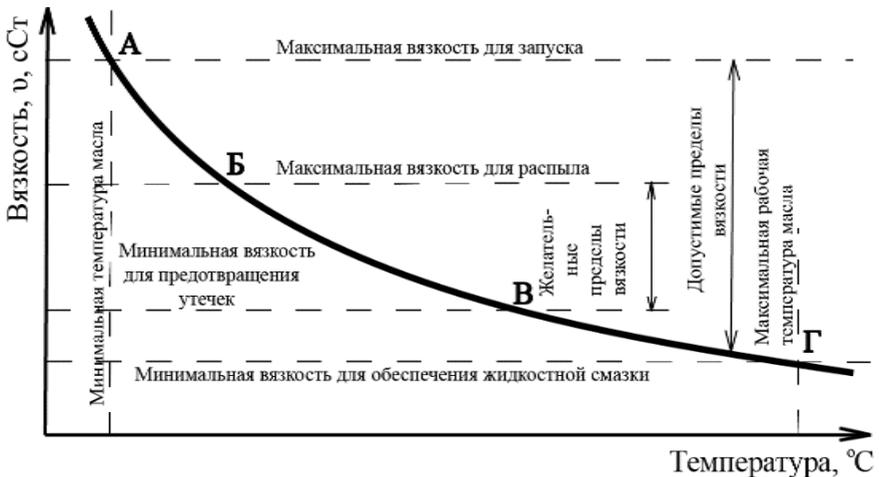
между слоями масла и определяется, в основном, его вязкостью. Жидкостный режим смазки является наиболее приемлемым для трущихся деталей, так как он обеспечивает малые потери мощности на трение и малое изнашивание деталей.

*Граничное трение* возникает при наличии существенно более тонкого разделительного слоя масла. При этом на выступающих участках трущихся поверхностей разделительная пленка практически полностью вытесняется, и может возникать контакт этих поверхностей. Граничная смазка возникает при нагрузках, превышающих прочность масляной пленки; в начальный период работы механизма; в условиях выработки ресурса масла и пр. При возникновении граничного трения повышается изнашивание деталей узлов и агрегатов маслосистемы.

*Сухое трение* возникает в условиях, когда прочность разделительной масляной пленки недостаточна для обеспечения других видов смазки. В этом случае сила трения между поверхностями не подчиняется закону жидкостного трения, а описывается законом Амонтона для сухого трения. Данный вид трения приводит к значительному изнашиванию трущихся деталей вплоть до их полного разрушения и сваривания.

### Зависимость вязкости от температуры

В зависимости от условий применения топлива, масла и специальные жидкости должны выполнять свои функции во всем диапазоне рабочих температур. Смазочные свойства ГСМ характеризуются вязкостно-температурными характеристиками (ВТХ). ВТХ для авиационных масел с накладываемыми на нее ограничениями показана на рис. 2.



**Рис. 2.** Зависимость вязкости от температуры

Точка А графика соответствует максимальной вязкости, при которой возможен холодный запуск двигателя. Диапазон Б-В является рабочим и обеспечивает оптимальные условия распыла масла масляными форсунками.

Точка Б определяет значение вязкости масла, при которой обеспечиваются условия охлаждения узлов трения и работоспособности в них масел. В точке В вязкость определяет отсутствие утечек масла из узла трения, т. е. обеспечиваются условия герметизации. В точке Г масло имеет минимальную вязкость, при которой происходит переход к сухому трению.

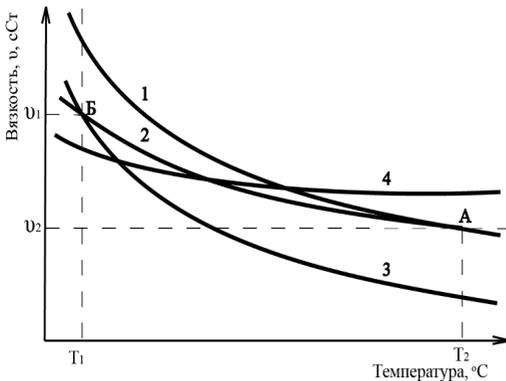
Получить масло с идеальной ВТХ, т. е. не изменяющее вязкостные характеристики в широком диапазоне температур, невозможно, однако, улучшить эти свойства возможно путем введения в масло специальных загущающих (вязкостных) присадок или перехода к синтетическим основам.

Загущенные или синтетические масла, как правило, обладают более пологими ВТХ (рис. 3).

В качестве критерия пологости ВТХ используют эмпирическую величину, называемую *индексом вязкости (ИВ)*. **Индекс вязкости** – это безразмерный показатель, который характеризует изменение вязкости смазочных масел в зависимости от температуры и входит в стандарты на масла во всех странах мира.

Высокий ИВ показывает, что при изменении температуры изменения вязкости является небольшим, а низкий ИВ, наоборот, – указывает на значительное изменения вязкости. Т. е. высокоиндексные масла сохраняют свою работоспособность в широком интервале температур без потерь эксплуатационных характеристик, обеспечивающих нормальное функционирование узлов трения.

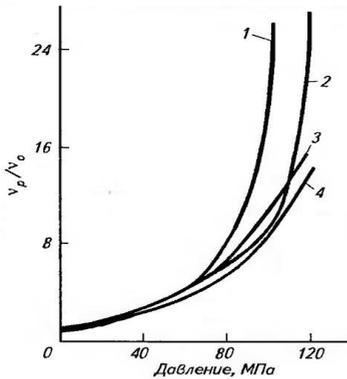
Расчет ИВ проводится по ГОСТ 25371-82 и может быть осуществлен расчетным путем или с использованием номограмм. Для расчетного определения ИВ необходимо знать экспериментальные значения вязкости масла при 40 °С и при 100 °С.



**Рис. 3.** ВТХ незагущенных и загущенных минеральных масел, синтетических масел 1 – исходное масло без присадок; А – минимальный уровень вязкости при высоких температурах; Б – максимально допустимый уровень вязкости при низких температурах; 2 – загущенное масло; 3 – незагущенное масло; 4 – синтетическое масло

Помимо температуры вязкость масел зависит от внешнего давления (рис. 4). Изменение вязкости масел с повышением давления имеет большое практическое значение, так как в некоторых узлах трения давление может быть очень значительным.

### Влияние изменения вязкости на работу узлов и агрегатов масляных систем



**Рис. 4.** Изменение вязкости некоторых масел в зависимости от давления

Изменение вязкости масел в процессе эксплуатации определяется их ресурсом, особенностями и условиями работы узлов и агрегатов, температурой. В процессе эксплуатации увеличение вязкости масел (помимо влияния температуры) происходит в условиях естественного испарения из них легких углеводородных фракций. Повышение вязкости масел определяет ухудшение их прокачиваемости и, как следствие, ухудшается распыл масел масляными форсунками, снижается расход масел через узлы трения, происходит перегрев деталей и самих масел и мн. др.

Снижение вязкости масел происходит вследствие выработки их ресурса, перегрева в процессе эксплуатации, обводненности, попадания в маслосистему топлива и приводит к снижению смазывающей способности масла и ухудшению режима распыла масел масляными форсунками.

Указанные изменения вязкостных характеристик масел приводят к значительному снижению ресурсов деталей, узлов и агрегатов масляных систем.

Наиболее простым и удобным способом измерения вязкости жидкостей является наблюдение за их истечением через капиллярные трубки.

Устройством для определения вязкости масла называется *вискозиметром*. В настоящее время существует большой ассортимент разнообразных вискозиметров, однако наиболее широко распространены вискозиметры капиллярного типа. Общий вид такого вискозиметра представлен на рис. 5.

*Сущность метода* заключается в измерении стеклянным капиллярным вискозиметром времени истечения определенного объема испытуемого масла под влиянием силы тяжести. Кинематическая вязкость вычисляется как произведение измеренного времени истечения нефтепродукта и постоянной вискозиметра:

$$v = \tau \cdot k, \quad (4)$$

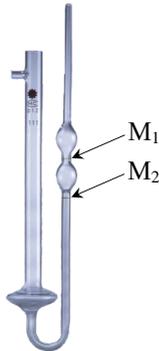
где  $v$  – кинематическая вязкость масла,  $\text{мм}^2/\text{с}$ ;

$\tau$  – время истечения опытного образца, с;

$k$  – постоянная вискозиметра,  $\text{мм}^2/\text{с}^2$ .

Динамическая вязкость вычисляется как произведение кинематической вязкости и плотности нефтепродукта при одной и той же температуре.

Процедура определения кинематической вязкости осуществляется в жидкостном термостате рис. 6.



**Рис. 5.** Общий вид капиллярного вискозиметра



**Рис. 6.** Общий вид жидкостного термостата

## 2. Экспериментальная часть

При проведении экспериментов по определению ВТХ моторного масла используется образец моторного масла для ГТД МС-8п.

### *Порядок проведения эксперимента*

- вискозиметр заполняют маслом через толстую стеклянную трубку в количестве 5 мл;
- вискозиметр устанавливают в термостат и выдерживают при температуре испытания 10 мин;
- в узкой трубке вискозиметра создают разрежение, используя подсос, и устанавливают высоту столбика нефтепродукта в капилляре вискозиметра до уровня, находящегося приблизительно на 7 мм выше первой метки ( $M_1$ ). При этом необходимо следить, чтобы в нефтепродукте не образовывались пузырьки воздуха;
- открывают доступ атмосферного воздуха и засекают время свободного истечения масла (перемещения мениска масла) между метками  $M_1$  и  $M_2$  вискозиметра с точностью до 0,1 с и температуру с точностью до 0,01 °С;
- опыт повторяют при температурах 30; 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 °С;
- вычисляют значения кинематической вязкости при каждой температуре;
- вычисляют значения динамической вязкости при каждой температуре, учитывая, что плотность масла в зависимости от температуры может быть вычислена по формуле:

$$\rho_m = (1 + 0,001317(t - 20))\rho_{20} - 0,001825(t - 20), \quad (5)$$

где  $t$  - температура, °С,

$\rho_{20} = 875 \text{ кг/м}^3$  – плотность масла МС-8п при 20 °С;

- по полученным данным строят ВТХ. Сравнивают полученный результат измерения вязкости при 50 °С с паспортными данными на масло МС-8п (не менее 8 сСт)

- вычисляют ИВ масла в соответствии с ГОСТ 25371-82 (методика также описана в следующем учебно-методическом пособии: Коняев, Е. А., Грядунов, К. И. Эксплуатационные свойства авиационных горюче-смазочных материалов: учебно-методическое пособие по проведению практических занятий (№ 345)).

Делают заключение о проведенной работе и кондиционности масла.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение вязкости жидкости. Какие вязкости различают?
2. Назовите виды трения.
3. Что такое ВТХ? Нарисуйте ее, отметьте ограничения.
4. Какими способами можно улучшить ВТХ авиационных масел?
5. Опишите методику определения вязкости авиационных масел в соответствии с ГОСТ 33768-2015.
6. Опишите приборное оборудование для определения вязкости авиационных масел в соответствии с ГОСТ 33768-2015.
7. Укажите достоинства и недостатки синтетических масел.
8. Дайте определение индексу вязкости.
9. Опишите способы определения индекса вязкости.
10. Опишите влияние вязкости на работу узлов и агрегатов маслосистемы.
11. По каким причинам может изменяться вязкость масел в большую и меньшую стороны?

## Лабораторная работа № 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ

Цель работы:

- изучить противоизносные свойства авиационных масел;
- знать влияние противоизносных характеристик масел на эксплуатацию летательных аппаратов и двигателей;
- уметь определять противоизносные свойства авиационных масел в соответствии с ГОСТ 9490-75.

### 1. Теоретическое введение

Выделяют как минимум 5 функций масла, основной из которых является смазывающая функция. Задача смазывающей функции масла состоит в надежном разделении трущихся поверхностей масляной пленкой и, соответственно, обеспечение жидкостного трения в узлах. Информацию о видах трения можно получить в теоретической части лабораторной работы № 12. Определение кинематической вязкости авиационных масел.

Смазывающая способность масел зависит от их химического состава. Для повышения смазывающих свойств масел применяют противоизносные и противозадирные присадки.

Для оценки смазывающей способности масел применяются четырехшариковые машины трения (ЧШМ) (рис. 1). ЧШМ ЧМТ-1 – это моноблок напольного исполнения. В верхней части машины расположен электродвигатель со скоростью вращения вала 1400 об/мин. На нижнем конце вала электродвигателя установлена цапга для крепления верхнего шарика. Электродвигатель закреплен на муфте, приспособленной для установки зажима, в котором неподвижно закрепляют три нижних шарика. Пирамида из четырех контактирующих друг с другом стальных шариков является узлом трения ЧШМ (рис. 2-3).

Верхний шарик, закрепленный в шпинделе машины, вращается относительно трех нижних в среде смазочного материала под заданной нагрузкой. Проворачивание нижних шариков в процессе испытания не допускается. Испытания проводятся при заданных

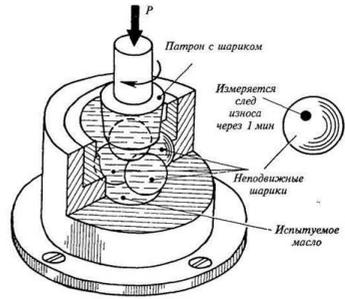


Рис. 1. Общий вид ЧМТ-1

стандартных условиях испытания, приведенных в нормативной документации на каждый вид масла. Чем выше нормативы по этим показателям, тем лучшей смазывающей способностью обладает испытуемое масло.



**Рис. 2.** Общий вид испытательного узла машины ЧМТ-1

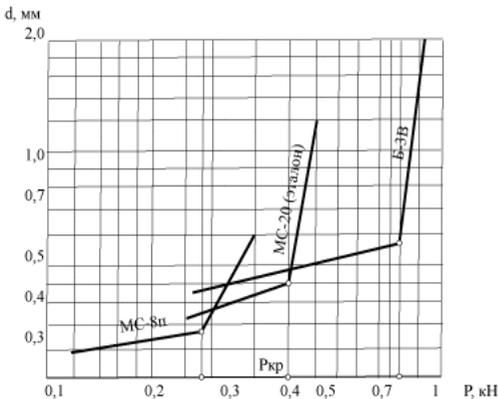


**Рис. 3.** Узел трения ЧМТ-1

Показателями смазывающей способности масел при испытаниях на ЧШМ являются критическая нагрузка  $P_k$  и нагрузка сваривания  $P_c$ .

**Критической нагрузкой** считают наименьшую нагрузку, при которой происходит потеря смазывающей способности масла (переход от жидкостного трения к граничному и сухому), определяемой по резкому увеличению среднего диаметра пятен износа нижних шариков.

**Нагрузкой сваривания** считают наименьшую нагрузку, при которой произошла автоматическая остановка машины при достижении момента трения  $(1180 \pm 25) \text{ Н}\cdot\text{см}$  или сваривание шариков. Для смазочных материалов, у которых сваривание не наблюдается и момент трения ниже предельного, за нагрузку сваривания принимают нагрузку, при которой образуется пятно износа средним диаметром 3 мм и более.



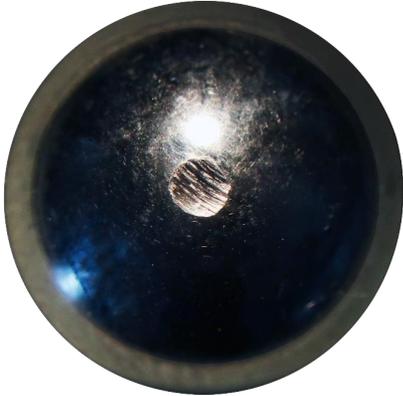
**Рис. 4.** Определение значения критической нагрузки

На рис. 4 приведены типичные диаграммы износа масел. Точкам перегиба графиков соответствуют критические нагрузки.

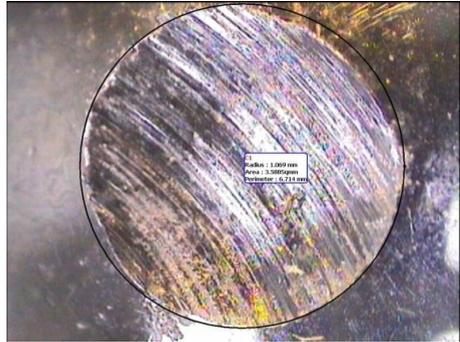
Сущность испытания по определению смазывающих свойств авиационных масел состоит в измерении диаметров пятен износа шариков после каждого испытания с постепенным увеличением действующей на них нагрузки. По результатам измерений строится график зависимости среднего диаметра пятен износа

от нагрузки и определяются показатели смазывающей способности масла (рис. 4).

Диаметры пятен износа на шариках имеют характерный вид и их размер определяется с помощью микроскопа со встроенной видеокамерой и инструментов соответствующего приложения для ПК (рис. 5, 6). За диаметр пятна износа для построения графика принимается среднее из измеренных значений для трех шариков.



**Рис. 5.** Внешний вид диаметр пятна износа шарика (увеличение 10х)



**Рис. 6.** Измерение диаметра пятна износа шарика (увеличение 40х)

## 2. Экспериментальная часть

Испытание масла проводят при комнатной температуре. Испытание состоит из серии определений, каждое из которых проводят на новой пробе масла и с четырьмя новыми шариками.

Перед началом испытания масла все детали машины, с которыми оно соприкасается во время испытания (зажим для крепления нижних шариков и детали крепления верхнего шарика в шпинделе), промывают растворителем, удаляющим смазочный материал с деталей, и просушивают на воздухе. Шарики для испытаний готовят тем же способом.

Порядок проведения измерения:

1. отсоединить тягу от рукоятки корпуса: перевести рычаг подпорки в верхнее положение, освободив тем самым узел трения от осевой нагрузки;
2. вынуть подставку, снять зажим и разобрать его;
3. поворачивая торцевым ключом эксцентриковый валик так, чтобы стрелки на его торцах были направлены вниз, выдавить цангу из вала;
4. вставить в цангу шарик и установить цангу в вал машины;
5. установить зажим на штифты, запрессованные в плиту машины, поместить в него три шарика и втулку, залить масло так, чтобы шарики были полностью покрыты им, после чего рожковым ключом затянуть накидную гайку;

6. установить зажим в машину и поставить подставку на место;
  7. перевести рычаг подпорки в нижнее (рабочее) положение;
  8. установить гиредержатель на соответствующее деление рычага в зависимости от требуемой величины осевой нагрузки, после чего поставить на гиредержатель необходимый набор гирь:
    9. проверить горизонтальность рычага;
    10. накинуть тягу предохранительного механизма на крючок рукоятки корпуса;
    11. закрыть защитный кожух;
    12. установить требуемое время испытаний – 10 сек и нажать кнопку ПУСК;
    13. после останова машины снять чашу с шариками в обратном порядке, слить масло, определить показатели износа шариков на электронном микроскопе;
    14. результаты испытаний свести в таблицу (табл. 1), построить график изменения среднего диаметра пятна износа шариков от нагрузки и определить по нему значение критической нагрузки.
- Сделать вывод о проведенной работе и соответствии испытуемого образца масла НТД.

Таблица 1

#### Результаты измерений диаметров пятен износа шариков

Название масла и дата проведения испытания \_\_\_\_\_

Нагрузка испытания, кгс	Диаметр пятна износа, мм			
	1 шарик	2 шарик	3 шарик	Средняя величина

#### Контрольные вопросы

1. Назовите функции масел.
2. Опишите физическую суть смазывающей способности масел.
3. Назовите виды трения, дайте их краткие пояснения.
4. Назовите показатели смазывающей способности масел и дайте их определения.
5. Какими способами улучшают смазывающую способность масел?
6. Опишите методику определения показателей смазывающих свойств авиационных масел по ГОСТ 9490-75.
7. Опишите сущность определения смазывающих свойств масел на ЧШМ.
8. Опишите устройство и принцип работы ЧШМ ЧМТ-1.

## Лабораторная работа № 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ

Цель работы:

- изучить способы оценки чистоты масел;
- знать влияние механических примесей на работу узлов и агрегатов маслосистем;
- уметь определять содержание механических примесей в маслах в соответствии с ГОСТ 6370-83.

### 1. Теоретическое введение

Важнейшим показателем, определяющим эксплуатационные свойства масел, является их чистота. Наличие и накопление в составе масел механических примесей связаны с одной стороны со значительными нагрузками в узлах трения, приводящими к их частичному разрушению с образованием металлических продуктов изнашивания, и с коррозионными процессами, а с другой стороны – с постепенным изменением химического состава моторного масла в ходе его ресурсного цикла и деструкцией присадок, входящих в состав свежего товарного масла. Таким образом, основными загрязнениями авиационных масел являются металлические частицы изнашивания, частицы коррозии конструктивных элементов масляных систем, ВТО, пыль, вода, авиационное топливо и мн. др.

*Влияние загрязнений* на работу узлов и агрегатов маслосистем неодинаково, но в подавляющем большинстве случаев является отрицательным. Вследствие наличия загрязнений происходит забивка ФТО масла, увеличение изнашивания узлов трения, ухудшение прокачиваемости масел и снижение качества их распыла масляными форсунками, снижение расхода масла через опоры, ухудшение охлаждения масла в ТМР, ухудшение работы клапанов, искажение показаний контрольных элементов маслосистем и пр.

Для оценки загрязненности авиационных масел применяются *следующие методы*: визуальный; качественный и количественный методы определения содержания воды; весовой и гранулометрический метод определения содержания механических примесей; методы качественного анализа металлических примесей в маслах.

Визуально проверку содержания механических примесей и воды в авиационных маслах проводят аналогично такой же проверке чистоты авиационных топлив после разбавления их четырехкратным количеством чистого авиационного бензина, керосина или растворителя (нефраса), предварительно проверенного на отсутствие механических примесей и воды.

Перед испытанием исследуемое растворенное авиационное масло тщательно перемешивают встряхиванием и быстро наливают в чистый цилиндр из бесцветного стекла диаметром 40-55 мм.

Рассматривать пробу необходимо через 1-2 мин после помещения ее в цилиндр, когда поднимутся пузырьки воздуха. Желательно перед испытанием придать авиационному маслу в цилиндре вращательное движение, при этом

механические примеси будут увлекаться со дна цилиндра. Свободная вода в авиационных маслах легко обнаруживается визуально, так как она практически не смешивается с нефтепродуктами и располагается отдельным слоем или находится в виде капель. При рассмотрении разбавленной пробы авиационного масла в проходящем свете она не должна содержать взвешенных или осевших на дно цилиндра посторонних примесей, отдельного слоя воды или ее капель.

Для повышения объективности визуального метода и исключения неправильных результатов необходимо крайне внимательно следить за чистотой емкостей для взятия проб, хранить их герметично закрытыми и привлекать для анализа нескольких операторов. Перед испытанием цилиндр с исследуемой пробой следует плотно закрыть пленкой или крышкой.

Сущность весового метода, которому посвящена настоящая лабораторная работа, заключается в фильтровании растворенного в бензине, керосине или растворителе (толуоле) авиационного масла и промывании растворителем осадка на фильтре с последующим определением массы задержанного на фильтре осадка путем взвешивания.

## 2. Экспериментальная часть

Все растворители перед применением должны быть отфильтрованы.

Пробу авиационного масла тщательно перемешивают встряхиванием в течение 5 мин в бутылке, заполненной не более чем на  $\frac{3}{4}$  ее вместимости. Парафинистые и вязкие масла предварительно нагревают до температуры 40-80 °С на водяной бане.

### *Порядок проведения эксперимента*

- бумажный или стеклянный фильтр промывают тем же растворителем, который применяют при испытаниях. Бумажный фильтр помещают в чистый сухой стаканчик для взвешивания. Стаканчик с открытой крышкой, в который помещен бумажный или стеклянный фильтр, держат в сушильном шкафу при температуре  $105 \pm 2$  °С в течение 45 мин, после чего закрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе в течение 30 мин и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г. Операцию высушивания и взвешивания повторяют до получения расхождения между двумя последовательными взвешиваниями не более 0,0004 г. Повторные высушивания фильтров производят в течение 30 мин;

- содержимое стакана фильтруют через доведенный до постоянной массы бумажный фильтр, помещенный в стеклянную воронку, закрепленную в штативе. Раствор наливают на бумажный фильтр по стеклянной палочке, воронку с фильтром наполняют раствором не более чем на  $\frac{3}{4}$  высоты фильтра. Остаток в стакане смывают на бумажный фильтр чистым бензином (керосином, толуолом) до тех пор, пока капля фильтрата не будет оставлять на бумажном фильтре масляного пятна после испарения растворителя. Остатки пробы или твердые примеси, приставшие к стенкам стакана, снимают стеклянной палочкой и смывают на бумажный фильтр горячим чистым бензином (осином, толуолом). Если авиационное масло содержит воду, затрудняющую фильтрование, то пробу

отстаивают 10-20 мин, после чего сначала фильтруют бензиновую (толуоловую) часть раствора, осторожно декантируя ее, затем отстой разбавляют 5-15-кратным (по объему) количеством спирто-эфирной смеси и фильтруют. Остаток в колбе смывают на бумажный фильтр спирто-эфирной смесью и подогретым бензином (керосином, толуолом). Бумажный фильтр с осадком промывают при помощи промывалки с резиновой грушей подогретым бензином до тех пор, пока на бумажном фильтре не будет следов авиационного масла и растворитель не будет стекать совершенно прозрачным и бесцветным. Если проба фильтруется медленно, допускается фильтрование и промывание фильтров производить при пониженном давлении и применять воронку для горячего фильтрования. При этом воронку для горячего фильтрования с помощью резиновой пробки присоединяют к колбе, соединенной с насосом. Бумажный фильтр смачивают растворителем и помещают в воронку так, чтобы он плотно прилегал к стенкам воронки. При фильтровании в воронке Бюхнера загнутые края бумажного фильтра должны плотно прилегать к стенкам воронки. Воронку заполняют раствором не более чем на  $\frac{3}{4}$  высоты фильтра и каждую новую часть добавляют после того, как стекла предыдущая. После фильтрования бумажный фильтр промывают, как описано ранее. При фильтровании с применением воронки для горячего фильтрования не допускается вскипания фильтруемого раствора. *Если при определении содержания механических примесей в авиационных маслах с присадками нормативно-технической документацией допускается дополнительно промывать фильтр горячей дистиллированной водой, то бумажный фильтр с осадком после промывания органическими растворителями просушивают на воздухе в течение 10-15 мин и затем промывают горячей дистиллированной водой (200-300 см<sup>3</sup>). При определении содержания механических примесей в авиационных маслах с присадками при наличии на бумажном фильтре осадка, не растворяющегося в бензине и толуоле, допускается дополнительное промывание бумажного фильтра горячей спирто-толуольной смесью;*

- по окончании промывания бумажный фильтр с осадком переносят в стаканчик для взвешивания, в котором сушился чистый фильтр, и сушат с открытой крышкой в сушильном шкафу при температуре  $105 \pm 2$  °C не менее 45 мин;

- стаканчик для взвешивания закрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе в течение 30 мин и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г. Высушивание и взвешивание повторяют до получения расхождения между двумя последовательными взвешиваниями не более 0,0004 г. Повторные высушивания бумажного фильтра производят в течение 30 мин.

В случае, если содержание механических примесей не превышает нормы, установленной государственными стандартами на авиационное масло, доведение фильтра до постоянной массы не производят.

Массовую долю механических примесей (X) в авиационных маслах и рабочих жидкостях в процентах вычисляют по формуле:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{m_3} \cdot 100,$$

где  $m_1$  – масса стаканчика для взвешивания с чистым бумажным фильтром или масса стеклянного фильтра, г;

$m_2$  – масса стаканчика для взвешивания с чистым бумажным фильтром (стеклянного фильтра) с механическими примесями, г;

$m_3$  – масса пробы авиационного масла.

За результат испытания на содержание механических примесей в авиационных маслах принимают среднее арифметическое значение результатов двух последовательных определений.

Расхождения между двумя параллельными определениями не должны превышать величин, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Допустимые расхождения между результатами параллельных определений содержания механических примесей в авиационных маслах

Содержание примесей, % (по массе)	Воспроизводимость	Повторяемость
До 0,01	0,005	0,0025
От 0,01 до 0,1	0,01	0,005
От 0,1 до 1,0	0,02	0,01
Свыше 1,0	0,20	0,1

Содержание механических примесей до 0,005 % (по массе) включительно оценивается как их отсутствие.

*Для уменьшения погрешности измерения содержания механических примесей в авиационных маслах и рабочих жидкостях следует использовать растворители после их перегонки.*

*При взвешивании стаканчика с бумажным фильтром после сушки его масса непрерывно меняется за счет адсорбции влаги на поверхности. Для обеспечения однородности результатов в циклах «сушка — охлаждение — взвешивание» необходимо взвешивание регламентировать по времени, начиная его отсчет с момента открытия крышки эксикатора для извлечения из него стаканчика до момента окончания отсчета по шкале весов.*

### 3. Контрольные вопросы

1. Дайте определение чистоте авиационных масел.
2. Какими методами оценивают чистоту авиационных масел?
3. Как оценить чистоту авиационных масел визуально?
4. Назовите источники загрязнения авиационных масел.
5. Назовите влияние загрязнений авиационных масел на эксплуатацию масляных систем.
6. Опишите сущность весового метода определения содержания механических примесей в авиационных маслах.
7. Опишите методику определения содержания механических примесей в авиационных маслах по ГОСТ 6370-83.

## Лабораторная работа № 15. ОЦЕНКА СОСТАВА ЧАСТИЦ ИЗНАШИВАНИЯ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ НА АДК «ПРИЗМА»

Цель работы:

- изучить параметры оценки состояния узлов и агрегатов авиационных двигателей;
- знать влияние механических частиц изнашивания на работу деталей, узлов и агрегатов масляных систем АД;
- уметь определять количественный и качественный состав частиц изнашивания на АДК «Призма».

### 1. Теоретическое введение

С целью обеспечения безопасности и экономичности полетов все большее распространение получают методы раннего диагностирования узлов и агрегатов авиационных двигателей. Экономичность заключается в том, что все в большей мере осуществляется переход к обслуживанию авиационной техники по состоянию, а не по ресурсу.

Едва ли не самыми ответственными элементами авиационных двигателей являются его узлы трения, и прежде всего подшипники (опоры). Контроль за состоянием опор на данный момент осуществляется по различным *параметрам* (рис. 1).

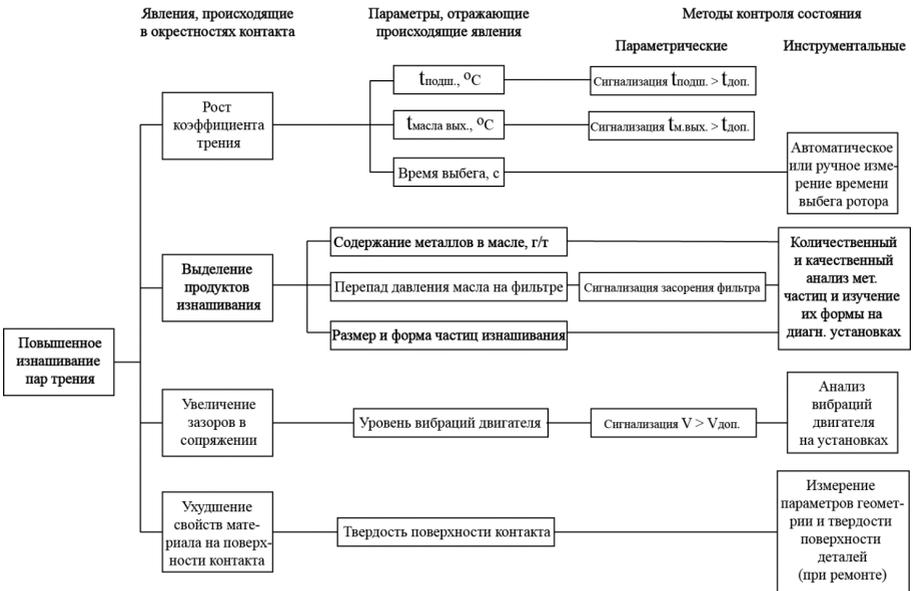


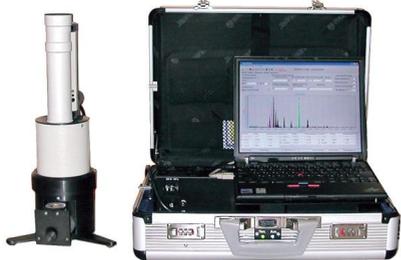
Рис. 1. Параметры диагностирования пар трения авиационных ГТД

Данный контроль осуществляется постоянно или периодически; системами контроля, установленными на борту ВС (магнитные пробки, датчики температуры масла, стружкосигнализаторы и т. д.), или наземными способами.

Одним из наземных способов оценки состояния узлов и агрегатов АД и прогнозирования их остаточного ресурса является способ распознавания и оценки содержания металлических примесей в работающих маслах. *Суть его заключается* в том, что для каждого типа двигателя нормируются предельно допустимые концентрации (ПДК) металлов, и при периодическом анализе масел полученные значения концентраций металлов сравниваются с нормативными. По результатам дается заключение: двигатель продолжает нормальную эксплуатацию, ставится на особый контроль или снимается с эксплуатации.

*Методов распознавания металлов* и их количественных значений в пробах и соответствующих приборов на данный момент имеется достаточно много. К основным современным методам стоит отнести следующие: феррографический, сцинтилляционный и спектральный. Основных спектральных методов также существует несколько: атомно-эмиссионный, атомно-абсорбционный и рентгенофлуоресцентный. Стоит отметить, что любые современные приборы, в которых реализован один из указанных методов, при их преимуществах и недостатках относительно друг друга являются высокоточными и позволяют с высокой достоверностью определять материал частиц и их количество в пробах.

Одним из таких приборов является рентгенофлуоресцентный автоматизированный диагностический комплекс (АДК) «Призма» отечественного производства (рис. 2).



**Рис. 2.** Внешний вид АДК «Призма»

АДК «Призма» – рентгенофлуоресцентный спектрометр, позволяющий с высокой точностью определить содержание до 40 элементов, находящихся в пробе.

Метод основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце.

Отобранный образец жидкости объемом 25-50 мл прокачивается через фильтр для осаждения на нем механических примесей. Затем фильтр устанавливается в кювету рентгенофлуоресцентного анализатора. Когда атомы образца облучаются фотонами с высокой энергией – возбуждающим первичным излучением рентгеновской трубки, это вызывает испускание электронов. Электроны покидают атом. Как следствие, в одной или более электронных орбиталях образуются "дырки" – вакансии, благодаря чему атомы переходят в возбужденное состояние, т.е. становятся нестабильны. Через миллионные доли секунды атомы возвращаются к стабильному состоянию, когда вакансии во внутренних орбиталях заполняются электронами из внешних орбиталей. Такой

переход сопровождается испусканием энергии в виде вторичного фотона – этот феномен и называется "флуоресценция".

Источником возбуждающего (первичного) излучения высокой энергии является рентгеновская трубка, питаемая высокостабильным генератором высокого напряжения.

С целью повышения точности и достоверности получаемых результатов обработки данных измерения в приборе предусмотрено использование метода внутреннего стандарта, предусматривающего сравнение измеренных интенсивностей металлов, содержащихся в пробе механических примесей, собранных на фильтре с веществом-стандартом, присутствующим постоянно в измерительном блоке анализатора, концентрация которого точно известна. При определении концентраций металлов в пробе площади пиков их интенсивности, полученные в результате измерения, сравнивают с площадью вещества стандарта. Такой прием обработки результатов анализа позволяет повысить точность и достоверность определяемых концентраций металлов до уровня 1 г/т, что соответствует требованиям, предъявляемым конструкторами агрегатов ВС к уровню допустимых концентраций металлов в маслах.

Характеристическое флуоресцентное излучение атомов пропорционально их концентрации в образце. Излучение раскладывается в спектр при помощи кристалл-анализаторов, далее с помощью детекторов и счетной электроники измеряется его интенсивность. Математическая обработка спектра позволяет проводить количественный и качественный анализ металлических примесей.

Анализ и обработка результатов измерений проводится в автоматическом режиме.

Отдельно стоит отметить, что всю последующую экспертизу на лабораторном оборудовании определяет отбор проб масла из двигателя.

Отобрав представительную пробу работавшего масла с разных этапов его ресурсного цикла, можно провести оценку остаточного ресурса самого масла, а также узлов и агрегатов АД, омываемых маслом.

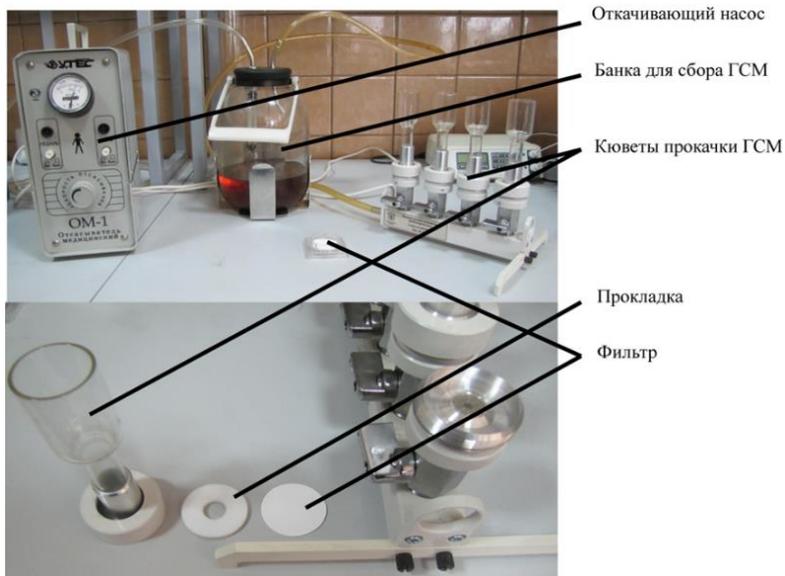
Также по составу мехпримесей с большой точностью возможно определить марку сплава, из которого состоят продукты изнашивания, что при прочих равных обстоятельствах обеспечивает адресность возможного дефекта элементов масляной системы.

Влияние механических примесей на работу узлов и агрегатов маслосистем рассмотрено в лабораторной работе № 14. Определение содержания механических примесей в маслах.

## 2. Экспериментальная часть

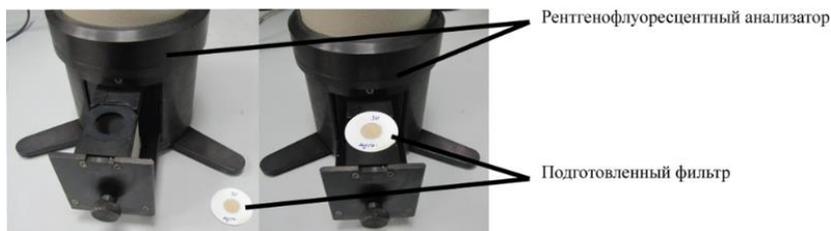
Отобранная для анализа проба в объеме от 25 мл прокачивается через фильтр для осаждения на нем частиц металлов с помощью откачивающего насоса (рис. 3):

- отвинтить накидную гайку, крепящую кювету для прокачки ГСМ;



**Рис. 3.** Устройство подготовки проб

- разместить в гнезде держателя фильтр, установить уплотняющую фторопластовую прокладку и завернуть кювету прокачки ГСМ на узел фильтрации;
- цилиндром отмерить необходимый для испытаний объем масла (25-50 мл);
- аккуратно залить масло из цилиндра в кювету и перевести ручку крана, находящегося под кюветой в вертикальное положение;
- включить откачивающий вакуумный насос и отрегулировать величину остаточного давления, создаваемого в системе до уровня 50-70 %;
- наблюдать за ходом фильтрации образца;
- после того, как весь объем масла профильтруется, промыть кювету керосином для полного смывания остатков масла;
- перевести ручку крана, находящегося под кюветой в горизонтальное положение и выключить насос;
- отвинтить накидную гайку кюветы, снять ее с узла фильтрации, удалить уплотняющую прокладку и осторожно, с помощью пинцета извлечь фильтр и просушить его на воздухе 20-30 мин.
- подготовленный таким образом фильтр поместить в кювету рентгенофлуоресцентного анализатора (рис. 4).
  - запустить компьютерную программу анализатора;
  - заполнить все необходимые поля: объем пробы, марка масла, диаметр отпечатка и пр.;
  - запустить измерение.



**Рис. 4.** Блок анализатора с фильтром

После окончания измерения записать в протокол испытаний полученные результаты. В том случае, если проба масла была отобрана с известного авиационного двигателя, дать оценку его состояния, учитывая ПДК для данного двигателя.

### 3. Контрольные вопросы

1. Назовите основные параметры диагностирования опор и других элементов авиационных двигателей, омываемых маслом.
2. С какой целью проводится анализ масел, отобранных из агрегатов ВС?
3. Назовите основные методы распознавания металлов и определения их содержания в пробах масла.
4. В чем состоит суть методов раннего диагностирования по содержанию металлов в маслах.
5. Опишите методику определения содержания металлов в маслах на АДК «Призма».
6. Опишите принцип действия АДК «Призма».
7. Перечислите основные загрязнения масла в масляной системе АД.
8. Назовите негативные последствия наличия загрязнений в масляной системе АД.
9. Опишите пробоподготовку для анализа на АДК «Призма».
10. Назовите бортовые методы контроля наличия металлов в маслах.

## Лабораторная работа № 16. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ВОДЫ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ

Цель работы:

- изучить способы определения наличия и содержания воды в авиационных маслах;
- знать влияние наличия воды в авиационных маслах на работу узлов и агрегатов АД, омываемых маслом;
- уметь определять наличие воды в авиационных маслах в соответствии с ГОСТ 1547-84.

### 1. Теоретическое введение

Все углеводороды обладают свойством обратимой гигроскопичности. Данное свойство в достаточной степени описано в теоретической части лабораторной работы № 4. определение загрязненности авиатоплив с помощью ИКТ на ПОЗ-Т.

Как уже известно, растворимость воды в нефтепродуктах описывается формулой Генри и зависит прежде всего от углеводородного состава, температуры окружающего воздуха и его влажности. В связи с большей тяжестью масел (большей их плотностью), растворимость воды в них много меньше, чем в авиационных топливах, тем не менее фазовые состояния воды в маслах и фазовые состояния воды в маслосистемах те же что и в топливах и топливных системах.

Согласно нормативным документам наличие воды в авиационных маслах не допускается.

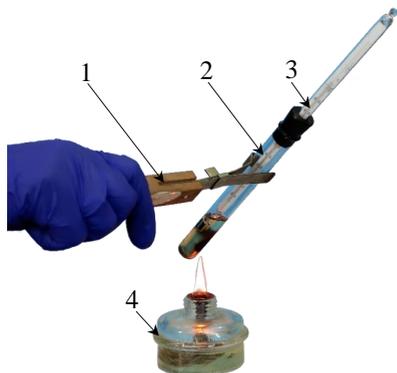
Вода может присутствовать в маслах вследствие ее попадания в маслосистему при заправке, образования конденсата в маслосистеме при определенных атмосферных условиях, ненадлежащего качества заправляемого масла и пр. Вода, присутствующая в маслах усиливает их склонность к окислению, изменяет вязкость и смазывающую способность, интенсифицирует процессы коррозии металлических поверхностей, контактирующих с маслом. При низких температурах происходит кристаллизация воды, которая засоряет масляные фильтры, форсунки и др. Все это приводит к снижению ресурсов работы деталей, узлов и агрегатов, омываемых маслом, и самого масла.

Применяются следующие *методы определения воды в авиационных маслах*: визуальный (см. ЛР № 14), качественный и количественный.

Качественному методу определения воды в авиационных маслах посвящена настоящая лабораторная работа.

*Сущность метода* заключается в том, что авиационное масло нагревают до температуры 130 °С, и при наличии в нем воды происходит образование водяных паров, вызывающих вспенивание и треск. По наличию вспенивания и треска судят о содержании воды. Этот метод, как правило, позволяет качественно определять наличие не только суспензированной и эмульсионной, но и частично растворенной воды при ее концентрациях более 0,02 %.

## 2. Экспериментальная часть



**Рис. 1.** Определение наличия воды в авиационных маслах:

1 – держатель, 2 – колба с испытуемым маслом, 3 – термометр, 4 – спиртовая горелка

В тщательно вымытую и просушенную теплым воздухом или в сушильном шкафу стеклянную пробирку наливают при температуре окружающей среды испытуемое авиационное масло до высоты 80-90 мм от дна пробирки. Пробирку закрывают корковой или резиновой пробкой, в отверстие которой вставляют термометр таким образом, чтобы ртутный резервуар термометра находился на равных расстояниях от стенок пробирки и на расстоянии 20-30 мм от ее дна (рис. 1).

Во время проведения эксперимента должна соблюдаться тишина.

### *Порядок проведения эксперимента*

- пробирку с испытуемым маслом нагревают над небольшим пламенем горелки, перемещая ее в наклонном положении, до достижения температуры авиационного масла в пробирке 130 °С (рис. 1);
- внимательно прислушиваются, определяя потрескивание пузырьков воды, и наблюдают за возможным вспениванием масла.

Наличие влаги в масле считается установленным, если при вспенивании или без него слышен треск (не менее двух раз).

Опыт повторяют в тех случаях, если при первом испытании наблюдалось одно из следующих явлений:

1. однократный явственный треск со вспениванием;
2. очень слабый треск со вспениванием;
3. только вспенивание.

Если при повторном испытании вновь наблюдается однократный явственный треск со вспениванием или очень слабый треск со вспениванием, то наличие воды считается установленным. Если необходимо количественное определение содержания воды, применяют метод количественного определения (см. ЛР № 17).

Если при повторном испытании вновь наблюдается только однократный явственный треск, или очень слабый треск, или только вспенивание, то испытуемое масло не содержит воды.

Делают вывод о проведенной работе и кондиционности испытанного масла.

### **3. Контрольные вопросы**

1. Что такое обратимая гигроскопичность масел?
2. Назовите фазовые состояния воды в маслах и масляных системах АД.
3. Назовите источники появления воды в авиационных маслах и ее влияние на сами масла и детали, узлы и агрегаты масляных систем.
4. Назовите методы определения воды в авиационных маслах.
5. Опишите методику качественного определения наличия воды в авиационных маслах.
6. Объясните сущность качественного метода определения воды в авиационных маслах.
7. Опишите визуальный метод определения наличия воды в авиационных маслах.
8. Назовите нормы присутствия воды в авиационных маслах.

## Лабораторная работа № 17. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ

Цель работы:

- изучить способы определения наличия и содержания воды в авиационных маслах;
- знать влияние наличия воды в авиационных маслах на работу узлов и агрегатов АД, омываемых маслом;
- уметь определять содержания воды в авиационных маслах в соответствии с ГОСТ 2477-2014.

### 1. Теоретическое введение

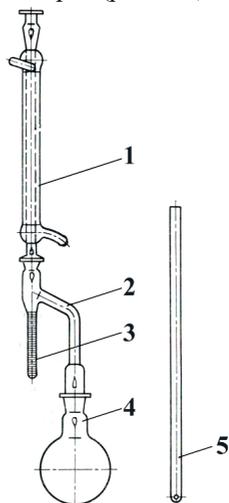
Необходимые теоретические сведения о гигроскопичности масел, фазовых состояниях воды в авиационных маслах и маслосистемах, влиянии присутствия воды в авиационных маслах на работу узлов и агрегатов ВС и пр. описаны в теоретических частях лабораторных работ № 4, 14, 16.

*Сущностью метода* определения количественного содержания воды в авиационных маслах является ее перегонка из рабочих масел с растворителем. Растворитель применяют для устранения толчков и сильного вспенивания, сопровождающих кипение масла, содержащего воду. По объему воды, собравшейся в приемнике-ловушке, отнесенному к известному количеству авиационного масла, оценивают ее количественное содержание.

Эксперимент проводят на приборе Дина и Старка (рис. 1-2).



**Рис. 1.** Внешний вид прибора Дина-Старка



**Рис. 2.** Конструкция прибора Дина-Старка: 1 – холодильник; 2 – приемник-ловушка; 3 – мерная шкала; 4 – колба; 5 – распылительная трубка

## 2. Экспериментальная часть

Пробу авиационного масла или рабочей жидкости в количестве не менее  $200 \text{ см}^3$  перемешивают встряхиванием в склянке, заполненной не более чем на  $\frac{3}{4}$  вместимости в течение 5 мин.

В просушенную колбу (стеклянную или металлическую) помещают навеску испытуемого авиационного масла или рабочей жидкости в количестве  $100 \pm 1 \text{ г}$ , взвешенную с точностью  $\pm 0,10 \text{ г}$ . Затем цилиндром отмеривают в колбу  $100 \text{ см}^3$  растворителя, перемешивают содержимое колбы до полного растворения пробы и помещают в колбу кипелки, или 1-2 г олеина, или несколько капель силиконовой жидкости.

Колбу 4 прибора для количественного определения содержания воды (рис. 2) соединяют с отводной трубкой чистого и сухого приемника-ловушки (2). К приемнику-ловушке подсоединяют с помощью стеклянных соединительных элементов холодильник (1). При их отсутствии подсоединение производят посредством корковых пробок. При этом нижний конец отводной трубки приемника-ловушки вставляют посредством хорошо пригнанной корковой пробки в отверстие колбы с таким расчетом, чтобы он входил в колбу не более чем на 15-20 мм. В верхнем конце приемника-ловушки закрепляют конец трубки холодильника так, чтобы нижний, косо срезанный край ее находился напротив середины отводной трубки приемника-ловушки. Пробочные соединения, во избежание возможных потерь, рекомендуется смазать коллодием или замазкой из глета и глицерина.

Во избежание конденсации атмосферной влаги верхний конец трубки холодильника закрывают ватой.

### *Порядок проведения эксперимента*

- колбу прибора для количественного определения содержания воды устанавливают в колбонагреватель или на электрическую плитку, пускают в холодильник воду и нагревают содержимое колбы до кипения. Перегонку ведут так, чтобы из косо срезанного конца трубки холодильника в приемник-ловушку падали 2-4 капли за 1 с. Конденсирующиеся в холодильнике пары стекают в приемник-ловушку, причем вода собирается в ее нижней – градуированной – части (3). Иногда в конце испытания в трубке холодильника задерживаются капли воды, их удаляют кратковременным сильным кипячением, а если этого недостаточно, то сталкивают на дно приемника-ловушки стеклянной палочкой или проволокой. Перегонку прекращают, как только объем воды в приемнике-ловушке перестанет увеличиваться, и верхний слой растворителя станет совершенно прозрачным. Время перегонки должно быть не менее 30 и не более 60 мин;

- после того, как колба охладится, а растворитель и вода в приемнике-ловушке примут температуру окружающей среды, прибор для количественного определения содержания воды разбирают и сталкивают стеклянной палочкой или проволокой капли воды со стенок приемника-ловушки. Если в приемнике-ловушке собралось небольшое количество воды (до  $0,3 \text{ см}^3$ ) и растворитель

продолжает оставаться мутным, то приемник-ловушку помещают на 20-30 мин в горячую воду для осветления и снова охлаждают до температуры окружающей среды;

- записывают объем воды, собравшейся в приемнике-ловушке.

Массовую долю воды в авиационных маслах и рабочих жидкостях (X) в процентах вычисляют по формуле:

$$X = \frac{V \rho_v}{m} \cdot 100,$$

где  $V$  – объем воды, собравшейся в приемнике-ловушке, см<sup>3</sup>;

$\rho_v$  – плотность воды при температуре окружающей среды, г/см<sup>3</sup>;

$m$  – навеска масла, взятая для испытания, г.

Вода в приемнике-ловушке в количестве 0,03 см<sup>3</sup> и меньше расценивается как следы. Отсутствие воды в авиационных маслах определяется состоянием, при котором в нижней части приемника-ловушки не видно капель воды.

В случаях разногласий отсутствие воды проверяется нагреванием испытуемой пробы в пробирке, помещенной в масляную баню, до температуры 130 °С. При этом отсутствием воды считается случай, когда не слышно треска.

Расхождения между двумя последовательными определениями содержания воды в авиационных маслах и рабочих жидкостях не должны превышать одного верхнего деления занимаемой водой части приемника-ловушки.

*Для упрощения расчета массовой доли воды в авиационных маслах в процентах за плотность воды  $\rho_v$  при температуре окружающей среды принимается величина 1 г/см<sup>3</sup>, числовое значение объема воды  $V$  в кубических сантиметрах – за числовое значение массы воды в граммах. Тогда при навеске авиационного масла  $100 \pm 1$  г за содержание воды в нем принимается количество воды, собравшееся в приемнике-ловушке, в кубических сантиметрах.*

Сделать вывод о проведенной работе и кондиционности испытанного авиационного масла.

### 3. Контрольные вопросы

1. Что такое обратимая гигроскопичность масел?
2. Назовите фазовые состояния воды в маслах и масляных системах АД.
3. Назовите источники появления воды в авиационных маслах и ее влияние на сами масла и детали, узлы и агрегаты масляных систем.
4. Назовите методы определения воды в авиационных маслах.
5. Опишите метод Дина-Старка для количественного определения содержания воды в авиационных маслах.
6. Опишите конструкцию прибора Дина-Старка и сущность метода.
7. Для чего при проведении эксперимента в авиационное масло добавляется растворитель?
8. Назовите нормы присутствия воды в авиационных маслах.

## Лабораторная работа № 18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ

Цель работы:

- изучить эксплуатационное свойство авиационных масел – испаряемость;
- знать влияние изменения углеводородного состава авиационных масел на работу узлов и агрегатов, омываемых маслом;
- уметь определять температуру вспышки авиационных масел в соответствии с ГОСТ 4333-2014 и ГОСТ 6356.

### 1. Теоретическое введение

Определение температуры вспышки авиационных масел осуществляется для контроля их углеводородного состава и пожаробезопасности. Данный показатель определяет эксплуатационное свойство масел – воспламеняемость, которое непосредственно связано с испаряемостью. Всего в соответствии с ГОСТ 4333-2014 нормируются два показателя воспламеняемости масел:

**температура вспышки** – наименьшая температура испытуемого образца, скорректированная на барометрическое давление 101,3 кПа, при которой при поднесении источника зажигания происходит воспламенение паров образца и распространение пламени на поверхности жидкости при установленных условиях испытания и

**температура воспламенения** – наименьшая температура испытуемого образца, скорректированная на барометрическое давление 101,3 кПа, при которой при поднесении источника зажигания происходит воспламенение паров образца и устойчивое горение в течение не менее 5 с при установленных условиях испытания.

Для авиационных масел могут нормироваться как оба показателя, так и только один из них – температура вспышки.

В зависимости от стандартов на авиационные масла определение температуры вспышки производится в открытом или закрытом тиглях. По своей сущности они различаются лишь применяемой при испытаниях конструкцией тиглей (емкостей, в которые наливают испытуемый продукт). В остальном, сущность методик испытаний крайне близки и заключаются в следующем. Испытательный тигель заполняют пробой до заданного уровня. Вначале пробу нагревают быстро, а затем продолжают медленный нагрев с постоянной скоростью по мере приближения к температуре вспышки. Через заданные температурные интервалы подводят источник зажигания к испытательному тиглю. За температуру вспышки принимают наименьшую температуру, при которой при поднесении источника зажигания происходит воспламенение паров над поверхностью жидкости. Для определения температуры воспламенения продолжают испытание, пока применение источника зажигания не вызовет воспламенение паров над образцом и горение в течение не менее 5 с. Температуру вспышки и температуру воспламенения, определенные при

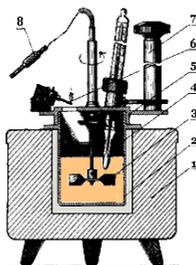
барометрическом давлении окружающей среды, корректируют на стандартное атмосферное давление, используя соответствующие уравнения.

*Изменение температуры вспышки авиационных масел в эксплуатации может быть связано с изменением их углеводородного состава (выкипание легких фракций) или вследствие попадания в масло авиационного топлива. В первом случае наблюдается увеличение температуры вспышки и вязкости масла, что негативно сказывается на прокачиваемости масла по маслосистеме, качестве распыла масла масляными форсунками вплоть до полного его прекращения, расходе масла через подшипники, охлаждении узлов трения и самого масла и пр., сокращая ресурс работы деталей, узлов и агрегатов, омываемых маслом. Во втором случае наблюдается обратная картина – снижение температуры вспышки, уменьшение вязкости масла, что негативно влияет на смазывающую способность масел, уменьшая прочность и толщину разделительной масляной пленки, и распыл масла масляными форсунками, что в итоге также приводит к снижению ресурса работы деталей, узлов и агрегатов, омываемых маслом.*

Для определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле применяются ручные, полуавтоматические и автоматические приборы (рис. 1). Для определения температур вспышки в закрытом тигле также применяются ручные или автоматические приборы (рис. 2-3).



**Рис. 1.** Ручной прибор ТВО для определения температуры вспышки в открытом тигле



**Рис. 2.** Ручной прибор для определения температуры вспышки в закрытом тигле



**Рис. 3.** Автоматический прибор АТВ-20 для определения температуры вспышки в закрытом тигле

## 2. Экспериментальная часть

### *Определение температуры вспышки в открытом тигле на приборе ТВО*

Аппарат ТВО (рис. 1) состоит из двух блоков, закрепленных на одной раме. Левый блок предназначен для регулирования температуры нагрева образца и скорости подачи газа на фитиль. Ручка управления фитилем закреплена на верхней части левого блока. Поворачивая ее по и против часовой стрелки от упора до упора, проверяют воспламенения паров при текущей температуре образца масла. На передней панели левого блока расположены тумблер и индикаторная лампочка включения электропитания, слева имеется ручка

регулирования скорости нагрева электронагревателя, а справа – краны, регулирующие расход газа на фитиле и величину факела горелки. Правый блок – электрический нагревательный элемент, на котором установлен стандартный тигель из цветного металла, с риской на внутренней поверхности, определяющей высоту налива образца масла. Также на правом блоке установлен штатив для крепления термометра.

Устанавливают аппарат на ровную и устойчивую поверхность в помещении, где нет заметного движения воздуха. Защищают верхнюю часть аппарата любыми средствами от воздействия яркого света для обеспечения возможности обнаружения температуры вспышки.

Промывают испытательный тигель растворителем для удаления всех следов смолистых веществ или остатков от предыдущего испытания. Сушат испытательный тигель потоком чистого воздуха для полного удаления используемого растворителя. При наличии углеродистых отложений их удаляют металлической щеткой.

Перед использованием охлаждают тигель до температуры не менее, чем на 56 °С ниже предполагаемой температуры вспышки. Помещают в тигель термометр в строго вертикальном положении так, чтобы нижний конец термометра находился на расстоянии 6 мм от дна тигля и на равном расстоянии от центра и стенки тигля по диаметру, перпендикулярно дуге (или линии) траектории движения испытательного пламени на стороне, противоположной зажигательному устройству испытательного пламени.

#### ***Порядок проведения эксперимента***

- заполняют тигель при температуре окружающей среды или повышенной температуре таким образом, чтобы верх мениска точно совпадал с меткой на тигле. При заполнении тигля выше метки избыток нефтепродукта удаляют пипеткой или соответствующим приспособлением. Следует избегать попадания нефтепродукта на наружную поверхность тигля. При попадании нефтепродукта на наружную поверхность тигля удаляют из тигля продукт, очищают и повторно заполняют тигель;

- удаляют пузырьки воздуха или пену с поверхности образца, поддерживая необходимый объем испытательного образца в тигле. Если пена сохраняется на заключительных этапах проведения испытания, результат отбраковывают;

- зажигают испытательное пламя и регулируют его таким образом, чтобы диаметр пламени был 3,2-4,8 мм;

- в начале испытания образец нагревают со скоростью 14-17 °С/мин. Когда образец достигает температуры примерно на 56 °С ниже предполагаемой температуры вспышки, скорость нагрева уменьшают так, чтобы она при достижении температуры, которая на (23 +5) °С ниже предполагаемой температуры вспышки, составляла 5-6 °С/мин. При проведении испытания принимают необходимые меры для предотвращения движения воздуха около тигля;

- начиная с температуры не менее чем на  $(23 + 5) ^\circ\text{C}$  ниже предполагаемой температуры вспышки каждый раз при повышении температуры образца на  $2 ^\circ\text{C}$  применяют зажигательное устройство. Плавным, непрерывным движением в течение примерно 1 с проводят пламенем по прямой линии или дуге радиусом не менее 150 мм в одном направлении через центр тигля перпендикулярно диаметру, который проходит через термометр. Центр пламени должен перемещаться в горизонтальной плоскости на расстоянии не более 2 мм выше верхнего края. При последующем применении источника зажигания пламя перемещают в обратном направлении. Если на поверхности образца образуется пленка, ее осторожно удаляют и продолжают определение;

- за температуру вспышки принимают показываемую термометром температуру, при которой применение источника зажигания вызывает воспламенение паров образца и распространение пламени по поверхности жидкости. *За истинную вспышку не следует принимать голубоватый венец вокруг пламени зажигательного устройства. Результат признают недействительным, если температура, при которой фиксируют вспышку, отличается от температуры первого применения источника зажигания менее чем на  $18 ^\circ\text{C}$ . Повторяют испытание с использованием нового образца, регулируя температуру первого применения источника зажигания до получения результата, при котором температура вспышки будет выше температуры первого применения источника зажигания на  $18 ^\circ\text{C}$ .*

#### *Определение температуры вспышки в закрытом тигле ручным способом*

Прибор состоит из следующих составных частей (рис. 2): 1 - корпус; 2 - тигель для пробы; 3 - мешалка; 4 - термометр; 5 – крышка тигля; 6 - запальник; 7 - ручка открытия лючка для введения источника огня в объем тигля; 8 –привод мешалки.

#### ***Порядок проведения эксперимента***

- пробу масла аккуратно заливают в предварительно открытый тигель (2) до риски, нанесенной на внутреннюю поверхность тигля;

- крышку тигля (5) с установленным в ней термометром (4) закрывают и включают электрообогрев через ЛАТР. За температурой масла следят по термометру. Скорость нагревания должна составлять  $5-6 ^\circ\text{C}$  в минуту, при этом масло периодически перемешивают ручной мешалкой 8;

- при достижении температуры топлива  $26 ^\circ\text{C}$  зажигают фитиль запальника (6) и вращением ручки (7) против часовой стрелки открывают отверстие в крышке тигля и вводят зажженный фитиль во внутренний объем, визуально проверяя наличие вспышки смеси паров масла с воздухом. Если вспышка не произошла, снижают скорость нагрева до  $2 ^\circ\text{C}$  в минуту и повторяют попытку через каждый градус, перед испытанием перемешивая масло в тигле мешалкой;

- за температуру вспышки принимают температуру жидкости, при которой произошла вспышка смеси паров масла и воздуха.

*Определение температуры вспышки в закрытом тигле на автоматическом приборе АТВ-20.*

Аппарат обеспечивает автоматическое определение температуры вспышки и состоит из электронного (слева) и технологического (справа) блоков. Для проведения анализа тигель, заполненный нефтепродуктом, с закрытой крышкой устанавливается на столик. Тигель вставляется по направляющим до упора. После начала анализа продукта через 5-8 с механизм подъема поднимает тигель по направляющим. В верхнем положении в тигель автоматически устанавливается датчик температуры, и подключаются контакты электрического нагревателя, расположенного внутри тигля. Привод мешалки производит вращение мешалки с постоянной частотой. Во время проведения испытания открывается заслонка тигля и одновременно происходит опускание в тигель запального устройства и датчика вспышки. Запальное устройство и датчик вспышки находятся в тигле в течение 1 с, а затем производится их подъем с одновременным закрыванием заслонки тигля.

В момент четкого появления вспышки испытуемого продукта производится фиксация температуры, и тигель плавно опускается в нижнее положение. На дисплее отображается температура вспышки, скорректированная с учётом поправки на атмосферное давление.

На лицевой панели электронного блока расположены двухстрочный дисплей, клавиатура со светодиодами, справочная таблица с описанием условных обозначений, применяемых при отображении информации на дисплее.

***Порядок проведения эксперимента***

- снять крышку с тигля. Заслонку крышки приподнять. Наружные и внутренние поверхности крышки и заслонки протереть ветошью, смоченной в промывочной жидкости, не содержащей воду. Внутреннюю поверхность и края тигля тщательно протереть ветошью с промывочной жидкостью. Не допускается попадание жидкостей на электроды и в зазоры тигля. Тигель и крышку хорошо просушить;

- залить пробу в холодный тигель до риски, нанесенной на внутреннюю поверхность тигля. Закрывать тигель крышкой с соответствующей маркировкой и проконтролировать положение заслонки крышки: прилегание к поверхности крышки и перекрытие окон (крайнее положение заслонки в направлении часовой стрелки относительно оси крышки). Температура тигля и продукта должна быть на 17 °С ниже ожидаемой (установленной) температуры вспышки;

- взять тигель за ручку и осторожно, не взбалтывая, горизонтально установить его на рабочий столик аппарата;

- осторожно продвинуть тигель по направляющим до упора (при этом боковые фиксаторы должны удерживать его в этом положении);

- включить аппарат, заполнить необходимую информацию, нажать кнопку ПУСК;

- после четкого появления вспышки анализ завершается. При этом аппарат подает трехкратный звуковой сигнал и в нижней строке слева отображается

надпись «стоп». Далее следует нажать клавишу СТОП, аппарат перейдет в режим просмотра результатов. Тигель при этом плавно опускается в нижнее положение.

Сделать вывод о проведенной работе и кондиционности авиационного масла.

### **1. Контрольные вопросы**

1. Назовите показатели испаряемости авиационных масел.
2. Дайте определения показателям испаряемости авиационных масел.
3. Назовите методы определения температуры вспышки авиационных масел.
4. Как выбираются методы определения температуры вспышки авиационных масел.
5. Опишите методику определения температуры вспышки авиационных масел в открытом тигле.
6. Опишите методику определения температуры вспышки авиационных масел в закрытом тигле.
7. Назовите эксплуатационное значение температуры вспышки авиационных масел.
8. В каких случаях температура вспышки авиационных масел может изменяться?
9. Опишите приборы для определения температуры вспышки авиационного масла в закрытом и открытом тиглях.

## Лабораторная работа № 19. ПЕНЕТРАЦИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

Цель работы:

- знать показатели эксплуатационных свойств пластичных смазок;
- уметь определять пенетрацию пластичных смазок в соответствии с

ГОСТ 5346-78.

### 1. Теоретическое введение

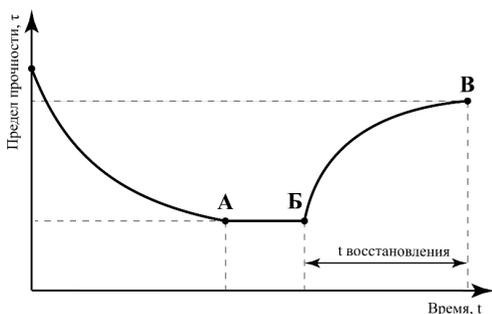
*Пластичные смазки – нефтепродукт или синтетический продукт, отличающийся наличием структурного каркаса, образованного частицами загустителя, в ячейки которого включено масло, и предназначенный для снижения износа трущихся уплотнений и соединений.* Они представляют собой специальным образом загущенные смазочные материалы, используемые для смазки, консервации и уплотнения узлов трения и деталей, для которых создать принудительную циркуляцию жидкой смазки нецелесообразно или невозможно из-за особых условий работы и конструкции.

Пластичные смазки по консистенции занимают промежуточное положение между жидкими маслами и твердыми смазочными материалами, сочетая в себе свойства обоих. Они являются коллоидными системами (твердые или полутвердые гели), характеризующимися высокой концентрацией дисперсной фазы. Высокая степень структурирования дисперсной фазы придает смазкам пластичность, упругость и ряд других свойств, благодаря которым они существенно отличаются от жидких смазывающих материалов. Смазка при невысокой температуре и отсутствии нагрузки сохраняет первоначальный вид и ведет себя подобно твердым телам: не растекается под действием собственной массы, удерживается на вертикальных поверхностях и не сбрасывается инерционными силами с движущихся деталей, однако уже при сравнительно малых нагрузках, превышающих предел ее прочности, и при нагреве часть смазки, которая непосредственно подвергается этому воздействию, начинает течь как жидкость, но при этом потеря из узла трения не происходит, т. е. другая часть смазки, не участвующая в работе, герметизирует его. При снятии нагрузки смазка вновь приобретает свойства твердого тела. Такое обратимое свойство, характерное для пластичных смазок, называется *тиксотропным*. В этом заключается преимущество применения смазок по сравнению с жидкими смазывающими материалами.

На рис. 1 представлена кривая тиксотропных превращений пластичных смазок при разрушении и восстановлении их структуры. По оси ординат отложены значения предела прочности пластичных смазок, характеризующие их механические свойства, по оси абсцисс – время. При механическом воздействии смазка постепенно разрушается, интенсивность разрушения практически прекращается в точке А, в которой достигается постоянное остаточное значение ее прочности. В точке Б механическое воздействие прекращается. Смазка начинает упрочняться, изначально достаточно резко, а затем спокойнее. В точке

В достигается постоянное значение предела прочности после «отдыха» пластичной смазки.

Время восстановления от т. Б до т. В характеризует скорость тиксотропного превращения смазки. Чем меньше это время, тем выше



**Рис. 1.** Тиксотропные превращения пластичных смазок

эксплуатационные механические свойства смазки. Быстрое восстановление структуры позволяет разупрочнившейся смазке не вытекать из негерметичных узлов. Чрезмерное уплотнение смазки после снятия нагрузки в свою очередь является нежелательным явлением, т. к. при этом затрудняется поступление смазочного материала к поверхностям трения.

К прочим *преимуществам* пластичных смазок относительно жидких можно отнести: малый удельный расход (иногда в сотни раз меньший); более простая конструкция машин и механизмов (что снижает массу, повышает надежность и ресурс работы); большой ресурс (годы работы); значительно меньшие эксплуатационные затраты при обслуживании техники; способность эффективнее снижать вибрации и шум агрегатов.

Кроме того, обычно пластичные смазки обладают лучшими противозносными свойствами, чем масла, на основе которых они изготовлены. Это объясняется рядом причин: противозносными способностями загустителей, являющихся в большинстве своем эффективными поверхностно-активными веществами; введением противозносных присадок, а также тем, что вязкость смазок выше, чем вязкость масел, что создает большую надежность обеспечения гидродинамической смазки.

Так, пластичные смазки используются более, чем в 90 % подшипников качения.

Также пластичные смазки могут применяться в сильно изношенных парах трения; негерметизированных или открытых узлах. Применение пластичных смазок более эффективно в условиях высоких температур и контактных нагрузок в узлах трения, работающих периодически или с частыми остановками.

По сравнению с жидкими смазывающими материалами пластичные имеют следующие *недостатки*: не отводят тепло, не выводят продукты изнашивания из узлов трения, имеют низкую химическую стабильность, что приводит к их повышенной окисляемости и ухудшению эксплуатационных свойств, имеют не всегда приемлемую ВТХ. Необходимость использования пластичных смазок в ряде случаев требует сложной системы их подачи в узел трения.

Пластичные смазки получают добавлением в масляную основу различных загустителей, под действием которых масло становится малоподвижным. Они состоят из пространственного структурного каркаса, образованного твердыми частицами *загустителя* (дисперсная фаза – в зависимости от класса смазки содержание загустителя в ней может составлять от 5 до 25 % ее массы) и *жидкого масла*, включенного в ячейки этого твердого каркаса (дисперсная среда – 75...95 %). В качестве основы пластичных смазок применяются минеральные и синтетические масла.

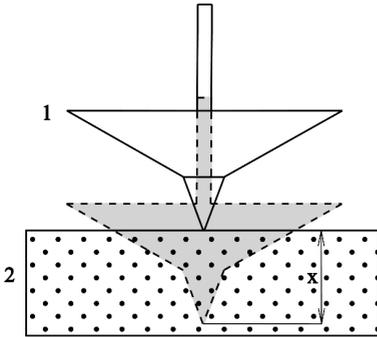
Загустителями могут служить соли жирных высокомолекулярных кислот (мыла), твердые углеводороды (церезины, петролатумы) и некоторые продукты неорганического (бентонит, селикагель) или органического (пигменты, кристаллические полимеры, производные карбамида) происхождения. Наиболее распространенные загустители – металлосодержащие мыла и твердые углеводороды. Концентрации мыльного и неорганического загустителя обычно не превышают 15 %, а концентрация твердых углеводородов доходит до 25 %.

Кроме основы смазки и загустителя пластичные смазки включают специальные добавки, необходимые для улучшения эксплуатационных свойств (для регулирования структуры и улучшения функциональных свойств). К ним относятся: *наполнители* – твердые вещества, как правило, неорганического происхождения, нерастворимые в масле (графит, дисульфит молибдена, слюда и др.). Они улучшают антифракционные и герметизирующие свойства и могут составлять 10...15 % от массы смазки; *модификаторы структуры* – поверхностно-активные вещества (спирты, кислоты и др.) – способствуют формированию более прочной и эластичной структуры смазки и составляют 1...2 % от массы смазки; *присадки* – малорастворимые поверхностно-активные вещества, добавляемые в количестве 1...5 % от массы смазки – преимущественно те же, что используются в товарных маслах: антиокислители, стабилизаторы, ингибиторы коррозии.

*Эксплуатационные свойства смазок* определяются в основном свойствами их загустителей и связаны с отдельными показателями физико-химических свойств. Основными свойствами пластичных смазок, по которым можно производить сравнительную оценку их качества являются: предел прочности, эффективная вязкость, пенетрация, температура каплепадения, коллоидная и химическая стабильность, коррозионное воздействие на металлы, содержание механических примесей и воды, испаряемость.

Данная работа посвящена определению эксплуатационного свойства – пенетрации.

**Пенетрация** (*число проницаемости*) – глубина погружения (*проникновения*) в испытываемую смазку конуса стандартных размеров за определенное время (рис. 2) – выражается десятками долями миллиметра (0,1 мм – единица пенетрации) и характеризует консистенцию (степень густоты) пластичных смазок. Чем больше число пенетрации, тем мягче смазка. Для пластичных смазок пенетрация находится в пределах 70...500 единиц.



**Рис. 2.** Определение пенетрации:

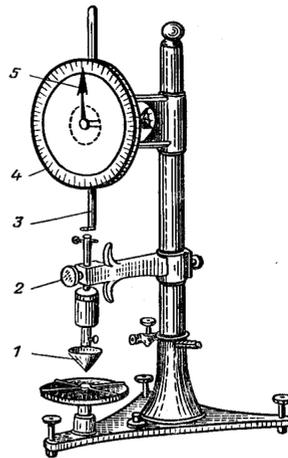
- 1 – стандартный конус,
- 2 – пластичная смазка,
- x – пенетрация

попадания в смазку воды или ее обратимой гигроскопичности, испаряемости, наличия загрязнений.

Пенетрация определяется на приборах – пенетрометрах (рис. 3-4).



**Рис. 3.** Автоматический пенетрометр



**Рис. 4.** Ручной пенетрометр: 1 – стандартный конус, 2 – пусковая кнопка, 3 – кремальера, 4 – циферблат, 5 – стрелка циферблата

Данный метод в течении многих десятилетий широко используется для оценки структурно-механических свойств пластичных смазок.

*Сущность метода* заключается в определении глубины погружения в испытуемую смазку стандартного конуса за 5 с при 25 °С при общей нагрузке 150 г, выражаемой целым числом десятых долей миллиметра по шкале пенетрометра.

Существуют 3 метода определения. Методом А определяют пенетрацию до 400 единиц, методом Б – до 475 единиц. Методом В определяют пенетрацию до 400 единиц при отсутствии в нормативно-технической документации на смазки ссылок на другие методы.

## 2. Экспериментальная часть

Испытуемую смазку оставляют в производственной таре, в которую она была упакована после изготовления. Ровная поверхность смазки должна быть на уровне верхнего края тары или стакана устройства. Допускается проводить испытание в производственной таре, диаметр которой больше диаметра стакана смесителя пенетрометра.

Перед проведением каждого испытания конус и ось пенетрометра тщательно очищают, при этом ось должна быть поднята. Не допускается попадание смазки или масла на ось пенетрометра, так как это может привести к торможению оси при проведении испытания. Конус не следует вращать, так как это приводит к изнашиванию механизма выключателя.

Смазку тщательно перемешивают шпателем и выравнивают.

### ***Порядок проведения эксперимента***

- стакан устройства для смазки или производственную тару со смазкой помещают на столе пенетрометра таким образом, чтобы она была устойчива;
- устанавливают конус (1) в положение "0" и регулируют аппарат. Если пенетрация смазки более 200 единиц, острие конуса должно касаться поверхности испытуемой смазки в центре тары (смазку используют только для одного определения). Если пенетрация 200 или менее единиц, проводят три определения в трех точках, расположенных на радиусах под углом 120 °С. Точки должны находиться в середине каждого радиуса. При определении конус не должен касаться стенок сосуда или поврежденной предыдущим определением поверхности смазки (наблюдение за тенью острия конуса помогает скорректировать установку);
- аккуратно опускают кремальеру (3), пока она не остановится на оси конуса и устанавливают индикатор (5) на циферблат (4) на «0»;
- нажав и удерживая кнопку (2), быстро опускают ось конуса и дают ей возможность свободно падать в течение  $(5,0 \pm 0,1)$  с. Механизм выключателя не должен тормозить движение оси;
- аккуратно опускают кремальеру (3), пока она не остановится на оси конуса;
- записывают показание индикатора (5) на циферблате (4);
- приподнимают кремальеру и плунжер с конусом, тщательно очищают конус от смазки обтирочным материалом, подготовив таким образом пенетрометр к повторному испытанию. При необходимости конус очищают обтирочным материалом, смоченным бензином.

Полученные результаты заносят в таблицу 1.

Смазка \_\_\_\_\_

Номер измерения	Пенетрация	Среднее арифметическое	% отклонения	Соответствие ГОСТ
1				
2				
3				

Расхождения между результатами параллельных определений не должны различаться более чем на 3 % от среднеарифметического результата трех (пяти) измерений.

Делают вывод о проведенной работе и соответствии смазки НТД.

### 3. Контрольные вопросы

1. Назовите определение пластичных смазок, опишите основные особенности их применения.
2. Перечислите показатели качества пластичных смазок.
3. Что понимается под тиксотропными свойствами пластичных смазок?
4. Опишите тиксотропные превращения пластичных смазок.
5. Что понимается под пенетрацией пластичных смазок, и в каких единицах она выражается?
6. Назовите преимущества и недостатки пластичных смазок по сравнению с жидкими смазочными материалами.
7. Что характеризует пенетрация пластичных смазок?
8. Назовите факторы, влияющие на пенетрацию.
9. Назовите сущность метода и опишите прибор для определения пенетрации.
10. Опишите методику определения пенетрации.
11. Назовите способы улучшения эксплуатационных свойств пластичных смазок.
12. Назовите области применения пластичных смазок.

## Лабораторная работа № 20. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПВКЖ В ТОПЛИВАХ

### Цель работы:

- изучить способы предотвращения образования льда в топливных системах ВС и АД;
- знать методы определения ПВКЖ в АТ;
- уметь определять содержания ПВКЖ в топливе рефрактометрическим способом в соответствии с ГОСТ 18995.2-73.

### 1. Теоретическое введение

Теоретическое введение, касающееся растворимости воды в топливах, фазовых состояний воды в топливах и топливных системах ВС и АД, влияния воды на работу узлов и агрегатов ВС и АД и пр., рассмотрено в теоретическом введении лабораторной работы № 4. Определение загрязненности авиатоплив с помощью ИКТ на ПОЗ-Т.

При подготовке авиатоплив к применению для снижения обводненности их обезвоживают в фильтрах-сепараторах. Однако выдача кондиционного топлива (содержание воды не более 30 г/т) не ликвидирует проблемы при эксплуатации ВС, связанные с образованием в топливных системах ВС и АД льда. Это обуславливается как свойством топлив к обратимой гигроскопичности, так и с неизбежным наличием воды в различных фазовых состояниях в топливной системе ВС.

Для предотвращения образования в топливных системах ВС и АД льда, а также для предотвращения забивки ФТО АД льдом применяются *различные методы*: ввод противоводокристаллизационных жидкостей (ПВКЖ) в топлива во время заправки; подогрев ФТО АД; впрыск спирта или горячего топлива на ФТО АД при увеличении перепада давления из-за забивки льдом; азотирование надтопливного пространства баков ВС; осушение топлива в полете холодным сухим атмосферным воздухом и пр.

Введение ПВКЖ в топлива является достаточно простым и действенным способом предотвращения образования льда в топливных системах ВС и АД. Добавление ПВКЖ осуществляется при температуре наружного воздуха в месте вылета ниже плюс 5 °С, а также при полетах за полярный круг и полетах продолжительностью более 5 ч.

*Марки ПВКЖ*: этилцеллозольв – жидкость «И»; этилцеллозольв и метанол, взятые в равных весовых частях – жидкость «И-М». В ГА в основном применяется жидкость «И-М». Эти присадки взаимодействуют с водой, образуя низкотемпературные растворы (эмульсии – антифризы), предотвращая кристаллизацию (и частично конденсацию) воды в интервале эксплуатационных температур (до - 40 °С).

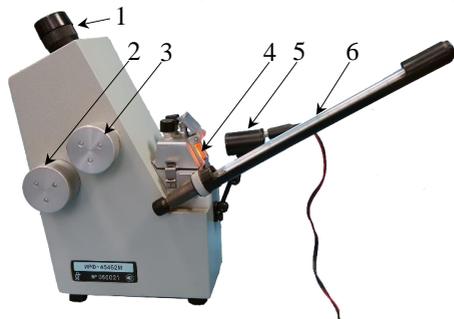
При изменении температуры и влажности окружающего воздуха растворенная в топливе вода выделяется в виде эмульсии и микрокапель и занимает пространство над и под топливом. Вместе с водой из топлива

выделяется часть ПВКЖ, препятствуя образованию кристаллов льда в топливе. При этом, естественно, происходит уменьшение содержания ПВКЖ в топливе. Количество выделяющейся из топлива ПВКЖ зависит от исходного влагосодержания топлива, скорости и степени его охлаждения.

*ПВКЖ присадки вводят в количестве от 0,1 до 0,15 % в зависимости от типа ВС и характера рейса. Добавление ПВКЖ в топливо производится с помощью дозаторов промышленного изготовления в поток топлива после фильтра-сепаратора. Допускается введение ПВКЖ в топливозаправщики по установленной технологии. Добавление ПВКЖ непосредственно в баки ВС запрещается. Контроль за точностью подачи ПВКЖ дозаторами промышленного изготовления в топливо осуществляется не реже 1 раза в смену путем анализа проб топлива, отобранных из потока после дозатора на пунктах налива, из отстойника топливозаправщика, раздаточного рукава заправочного агрегата. Контроль за равномерностью дозирования ПВКЖ осуществляется по мерному стеклу.*

Смешение различных марок ПВКЖ не допускается.

Если баки ВС заправлены полностью или частично топливом без ПВКЖ, а предстоит выполнение задания, требующего по условиям полета использование топлива с ПВКЖ, то в этом случае необходимо слить из баков все топливо без ПВКЖ и вновь заправить топливом, содержащим требуемое количество ПВКЖ.



**Рис. 1.** Рефрактометр ИРФ-454Б2М:

1 – окуляр, 2 – поворотный регулятор дуговой шкалы, 3 – компенсатор дисперсии, 4 – рефрактометрический блок, 5 – источник света; 6 – термометр.

ПВКЖ приводит к увеличению температуры замерзания эмульсии (смеси) ПВКЖ с водой.

*Для определения содержания ПВКЖ в топливах применяются следующие методы:* рефрактометрический, бихроматный и экспресс-метод.

Рефрактометрический метод обеспечивает быстроту и высокую точность выполнения анализа, требует минимальной затраты анализируемого раствора

Данные присадки являются ядовитыми, агрессивными к конструкционным материалам топливных систем. Их введение повышает стоимость топлива.

Избыточное содержание ПВКЖ в топливах является крайне негативным.

Кроме того, ПВКЖ обладают высокой испаряемостью, поэтому в полете их содержание в топливах постепенно снижается, и необходим постоянный контроль за содержанием ПВКЖ при задержке вылета ВС.

Снижение содержания

(2-3 капли). *Метод основан на экстракции ПВКЖ из анализируемого топлива с последующим замером показателя преломления водной вытяжки при 20 °С.*

**Показатель преломления** – это соотношение скорости света определенной длины волны в воздухе и в испытуемом продукте.

Для определения содержания ПВКЖ в топливах рефрактометрическим методом применяются приборы – рефрактометры (рис. 1).

## 2. Экспериментальная часть

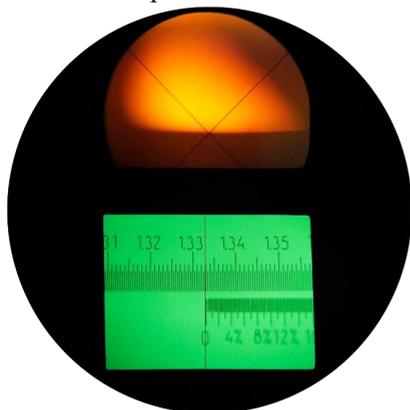
Перед началом эксперимента поверхности призм рефрактометра промывают несколькими каплями спирта и вытирают, осторожно прикладывая бумагу, полотно или замшу (материалы должны быть мягкие и неворсистые).

Термостат соединяют при помощи резиновых трубок с кожухом призм рефрактометра и пропускают через кожух воду, имеющую температуру  $(20 \pm 0,1)$  °С, в течение 15-20 мин.

Проверяют точность прибора по дистиллированной воде, показатель преломления которой при 20 °С, равен 1,3330, или по образцам, приложенным к рефрактометру. Проверку производят по инструкции, приложенной к прибору. Если рефрактометр дает отклонение показателя преломления образца или воды, то винтом корректировки нуля устанавливают метку на нужном делении шкалы.

В делительную воронку наливают 100 мл топлива, содержащего ПВКЖ, и 3 мл дистиллированной воды, которую следует точно отмерить с помощью пипетки вместимостью 5 мл или бюретки вместимостью 10-25 мл. Содержимое воронки энергично встряхивают в течение 15 мин вручную или перемешивают с помощью механической или магнитной мешалки.

После отстаивания отделяют от топлива водную вытяжку стеклянной пипеткой и определяют ее показатель преломления при 20 °С  $n_{D1}^{20}$ .



**Рис. 2.** Определение показателя преломления дистиллированной воды на рефрактометре

Одну-две капли испытуемой жидкости наносят при помощи пипетки на поверхность нижней призмы, предварительно промытой и высушенной, не касаясь призмы пипеткой, быстро соединяют обе призмы и прижимают их зажимом. Зрительную трубку устанавливают слегка в наклонном положении. Зеркало устанавливают по отношению к естественному или искусственному источнику света так, чтобы получить максимальную освещенность поля зрения и появление черно-белой границы светотени. Если после фокусировки окуляра граница светотени будет иметь некоторую

окраску, то ее устраняют вращением компенсатора. Если светотень будет серо-белой, необходимо тщательно вымыть призму на входе луча света.

Затем медленно вращают поворотный винт, связанный с дуговой шкалой до тех пор, пока четкая граница светотени точно и симметрично пересечет центр скрещенных визирных линий. Отсчет показателя преломления ведут при помощи лупы дуговой шкалы по делению, соответствующему визирной линии шкалы (рис. 2). Намечают границу светотени и отсчет ведут пять раз (попеременно сверху и снизу), после чего вычисляют среднее арифметическое значение этих измерений. Результатом определения считают среднее арифметическое значение этих измерений.

За результат испытания принимают среднее арифметическое двух параллельных определений, допускаемые расхождения между которыми не должны превышать 0,0002.

Аналогичным путем определяют при 20 °С показатель преломления дистиллированной воды  $n_{D2}^{20}$ , используемой для приготовления водной вытяжки.

После окончания измерения поверхности призм следует промыть спиртом или другим растворителем (в зависимости от растворимости испытуемого вещества) и высушить так же, как перед началом определения.

Концентрацию ПВКЖ (% об.) в топливе вычисляют по формуле:

$$A = \frac{(n_{D2}^{20} - n_{D1}^{20}) * 3}{(n_{D3}^{20} - n_{D1}^{20})} + 0,02,$$

где  $n_{D1}^{20}$  – показатель преломления водной вытяжки при 20 °С;

$n_{D2}^{20}$  – показатель преломления дистиллированной воды при 20 °С = 1,3330;

$n_{D3}^{20}$  – показатель преломления жидкости «И» («И-М») при 20 °С.

Если показатель преломления при температуре 20 °С ( $n_{D3}^{20}$ ) определить невозможно из-за отсутствия исходных ПВКЖ, то за его величину допускается принимать для жидкости «И» = 1,4080, а для жидкости «И-М» = 1,3680. Показатель преломления дистиллированной воды  $n_{D2}^{20}$  равен 1,3330.

Допустимое содержание А жидкости «И-М» в топливе от 0,1 до 0,15%.

### 3. Контрольные вопросы

1. Дайте понятие гигроскопичности авиационных топлив.
2. Назовите фазовые состояния воды в топливной системе ВС.
3. Назовите возможные негативные последствия присутствия воды в топливах при эксплуатации ВС.
4. Назовите методы предотвращения образования и ликвидации льда в топливных системах ВС и АД.
5. Назовите механизм действия ПВКЖ присадки.
6. Назовите марки ПВКЖ, применяемые в авиации, и их состав.
7. Назовите способы определения ПВКЖ в топливах.
8. Опишите методику определения ПВКЖ в топливах рефрактометрическим методом.
9. Назовите недостатки применения ПВКЖ.

## Лабораторная работа № 21. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ПВКЖ «И-М»

Цель работы:

- изучить влияние введения ПВКЖ присадок в топлива на работу топливных систем ВС и АД;
- знать причины и последствия обводненности ПВКЖ;
- уметь определять содержания воды в ПВКЖ в соответствии с ГОСТ 56340-2015.

### 1. Теоретическое введение

Теоретическое введение, касающееся растворимости воды в топливах, фазовых состояний воды в топливах и топливных системах ВС и АД, влияния воды на работу узлов и агрегатов ВС и АД и пр., рассмотрено в теоретическом введении лабораторной работы № 4. Определение загрязненности авиатоплив с помощью ИКТ на ПОЗ-Т.

Теоретическое введение, касающееся добавления ПВКЖ-присадки «И-М» в топлива рассмотрено в лабораторной работе № 20. Определение содержания ПВКЖ в топливах.

ПВКЖ «И-М» является ядовитой, легковоспламеняющейся жидкостью. При работе с ней следует внимательно соблюдать правила пожарной безопасности и требования, предъявляемые к работе с ядовитыми жидкостями.

В соответствии с ОСТ 53-3-175-73-99 нормируются следующие показатели качества ПВКЖ «И-М» (табл. 1).

Таблица 1

Значения показателей качества ПВКЖ «И-М»

Показатель качества	Значение
Внешний вид	прозрачная бесцветная жидкость
Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup>	0,858-0,864
Показатель преломления	1,3660-1,3720
Вода, % масс.	
- на месте производства	не более 0,1
- на месте потребления	не более 0,4
Содержание растворимых загрязнений	отсутствие
Содержание механических примесей	отсутствие
Содержание растворимых соединений металлов	отсутствие

Содержание воды в ПВКЖ является крайне важным показателем, поскольку ПВКЖ относится к жидкостям, обладающим обратной гигроскопичностью, а при увеличении в ней содержания воды, эффективность ее действия значительно снижается.

Определение воды в ПВКЖ осуществляется так же, как и определение воды в топливах – по методу Карла Фишера.

Метод описан в лабораторной работе № 9. Определение содержания воды в авиационных топливах.

## **2. Экспериментальная часть**

См. лабораторную работу № 9. Определение содержания воды в авиационных топливах.

## **3. Контрольные вопросы**

1. Назовите способы предотвращения образования льда в топливных системах ВС и АД.
2. Назовите фазовые состояния воды в АТ и в топливных системах ВС и АД.
3. Назовите негативные последствия образования льда в топливных системах ВС и АД.
4. Опишите сущность метода Карла Фишера для определения содержания воды в ПВКЖ.
5. Опишите прибор для определения содержания воды в ПВКЖ по методу Карла Фишера.
6. Опишите методику проведения эксперимента по определению содержания воды в ПВКЖ.
7. Назовите нормируемые показатели качества ПВКЖ.
8. В каком количестве вводится ПВКЖ «И-М» в АТ?
9. Назовите влияние обводненности ПВКЖ на ее эффективность.

**Рекомендуемая литература**

1. Коняев, Е. А., Грядунов, К. И. Эксплуатационные свойства авиационных горюче-смазочных материалов : учебное пособие / Е. А. Коняев, К. И. Грядунов. – М. : МГТУ ГА, 2016. – 80 с.
2. Коняев, Е. А., Немчиков, М. Л., Голубева, М. Г. Химмотология реактивных топлив / Е. А. Коняев, М. Л. Немчиков, М. Г. Голубева – М. : МГТУ ГА, 2010. – 64 с.
3. Коняев, Е. А., Немчиков, М. Л. Химмотология авиационных масел и гидравлических жидкостей / Е. А. Коняев, М. Л. Немчиков – М. : МГТУ ГА, 2008. – 80 с.
4. Коняев, Е. А., Грядунов, К. И. Эксплуатационные свойства авиационных горюче-смазочных материалов : учебно-методическое пособие по проведению практических занятий / Е. А. Коняев, К. И. Грядунов. – М. : МГТУ ГА, 2017. - 28 с.
5. Приказ № ДВ-126 от 17 октября 1992 г.
6. Коняев, Е. А., Немчиков, М. Л. Авиационные горюче-смазочные материалы : учебное пособие / Е. А. Коняев, М. Л. Немчиков. – М. : МГТУ ГА, 2012. – 80 с.
7. Братков, А. А., Серегин, Е. П. и др. Химмотология ракетных и реактивных топлив / А. А. Братков, Е. П. Серегин и др. – М. : Химия, 1987. - 304 с.
8. Литвинов, А. А. Основы применения горюче-смазочных материалов в гражданской авиации : учеб. для вузов / А. А. Литвинов. – М. : Транспорт, 1987. – 308 с. : ил.
9. Спиркин, В. Г. Химмотология топлив : учебное пособие / В. Г. Спиркин. – М. : ГУП издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. – 186 с.
10. Фукс, И. Г., Спиркин, В. Г. и др. Основы химмотологии. Химмотология в нефтегазовом деле: учебное пособие / И. Г. Фукс, В. Г. Спиркин. – М. : ФГУП издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. – 280 с.
11. Папок, К. К. Химмотология топлив и смазочных материалов / К. К. Папок. – М.: Воениздат, 1981. – 192 с.
12. Гишваров, А. С. Эксплуатационная надежность топливных систем / А. С. Гишваров. – Уфа.: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2008. – 298 с.
13. Балашов, И. А., Ковба Л. В. и др. Методические рекомендации по анализу качества горюче-смазочных материалов в гражданской авиации / И. А. Балашов, Л. В. Ковба и др. – М.: Воздушный транспорт, 1987. – 169 с.