

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»



КАФЕДРА  
«АВИАТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИЯ И РЕМОНТА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ»

Е.А. Коняев, М.Л. Немчиков, К.И. Грядунов, Т.М. Маслова

**ХИММОТОЛОГИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АВИАГСМ**

Пособие по выполнению лабораторных работ  
*для студентов*  
*механического факультета*  
*направлений*  
*160900, 162300*  
*всех форм обучения*

МОСКВА- 2014

Рецензент канд. техн. наук, проф. Н.Е. Сыроедов

Е.А. Коняев, М.Л. Немчиков, К.И. Грядунов, Т.М. Маслова

Химмотология и контроль качества авиационных ГСМ: пособие по выполнению лабораторных работ: - М.:МГТУ ГА, 2014. – 45 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ДС.02 «Химмотология и контроль качества авиационных ГСМ» по учебному плану специальности 160901 для студентов V курса и направления 162300 IV курса всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 28.01.2014 и методического совета 28.01.2014.

## Лабораторная работа № 1. Низкотемпературные свойства авиационных ГСМ

### *Цель работы:*

- ознакомить студентов с поведением авиационных ГСМ в условиях низких температур окружающей среды;
- обучить студентов стандартным методам оценки низкотемпературных характеристик авиа ГСМ;
- научить определять температуру начала помутнения авиатоплив по ГОСТ 5066-91 с использованием аппарата КРИСТАЛЛ-10Э.

### **Введение**

Понимание характера изменения свойств авиационных ГСМ в условиях низких температур окружающей среды очень важно для обеспечения бесперебойной работы основных узлов топливных систем ВС, а также системы смазки узлов и агрегатов на борту ЛА. В конечном итоге, эти знания в большой степени обеспечивают безопасность эксплуатации ВС, особенно в России, многие регионы которой, расположены в холодном климатическом поясе.

В зимний период эксплуатации авиатехники, при температуре топлива ниже 0°С (а при длительных высотных полетах и летом) в нем могут появляться кристаллы льда. Они забивают топливный фильтр двигателя перед насосом и резко снижают его пропускную способность, что приводит к отказу двигателя. Появление кристаллов льда в топливе может быть вызвано как образованием их в самой топливной системе ЛА, так и заправкой ее топливом, уже содержащим кристаллы льда. Разумеется, последнее совершенно недопустимо.

В топливе растворено небольшое количество воды, ее растворимость уменьшается с понижением температуры топлива и внешнего давления. Количественную характеристику, описывающую изменение растворимости воды в топливе при изменении температуры, формулирует уравнение Генри:

$$g_{H_2O} = g_0 \Psi_0 \frac{p}{p_0} \left(\frac{T}{T_0}\right)^n,$$

где:  $g_0$ - растворимость воды в авиатопливе при  $P_0=760$  мм рт.ст.;  $T_0=293K$ ;  $\Psi_0=1,0$ ;  $n=11$ .

С помощью этого уравнения можно оценить скорость выделения растворенной воды (и превращения ее в эмульсионную воду) в резервуарах с топливом при понижении температуры окружающей среды, снижении атмосферного давления и влажности воздуха.

При охлаждении топлива, например, в холодную погоду при заполнении наземных емкостей теплым топливом из подземных резервуаров или летом в дозвуковом полете на большой высоте избыток воды выделяется в виде мелких капелек, которые при отрицательной температуре замерзают. При этом мельчайшие капельки воды переходят из метастабильного жидкого состояния в

кристаллическое только при контакте с твердой поверхностью, прежде всего на топливном фильтре перед насосом.

Исходя из вышеизложенного, можно описать различные фазовые состояния воды в топливе: растворенная (в соответствии с расчетами по уравнению Генри); эмульсионная; пар; конденсат; иней; лед; свободная вода (отстой).

На рис 1. Схематически представлены возможные изменения фазового состояния воды в условиях ее пребывания при низких температурах окружающей среды.

Для борьбы с этим явлением в авиации применяют антиводокристаллизационные добавки, так называемые ПВКЖ (противоводокристаллизационные жидкости). В качестве последней наиболее часто применяется жидкость И-М, состоящая из 50% этилцеллозольва и 50% метанола (по объему) в концентрации 0,1-0,15 об.%, т.е на 1 м<sup>3</sup> топлива добавляется 1,0-1,5 л ПВКЖ «И-М». Это повышает растворимость воды в топливе, а при снижении температуры топлива приводит к выделению растворенной воды вместе с ПВКЖ «И-М» в процентном соотношении примерно 50% воды на 50% ПВКЖ. При этом образуется «антифриз», не замерзающий до температур  $\leq -50^{\circ}\text{C}$ . Ввод ПВКЖ «И-М» в топливо применяется только на старых типах самолетов (Ил-18, Ан-24, Як-40, Ту-154 А,Б,М, Ил-62, Ил-76), не оборудованных системами подогрева топливных фильтров воздухом, отбираемым от промежуточных ступеней компрессора. Все современные отечественные самолеты (Ту-204, Ил-86, Ил-96 и др.) и вся импортная авиатехника имеют такие системы подогрева, но актуальность применения ПВКЖ не отпала окончательно, т.к. периодически возникают нештатные ситуации при прокачке топлива не только в топливных фильтрах, но и в других элементах топливных систем самолетов, например, в баках ВС.

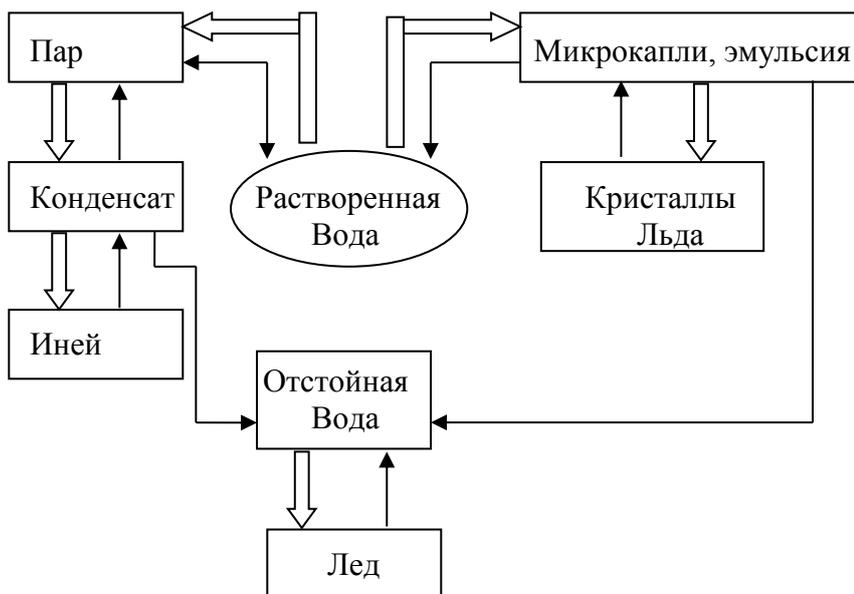


Рис. 1. Фазовые состояния воды в авиатопливе

Оценку низкотемпературных характеристик авиаГСМ проводят, используя ряд стандартных методов. К ним относятся определение температуры застывания (потери текучести) топлив и масел по ГОСТ 20281, определение динамической вязкости масел по ГОСТ 1929-87 метод А, а также температуры начала помутнения топлив по методу ГОСТ 5066-91. Кроме того технический регламент на топлива (в приложении 4), действующий на территории РФ предусматривает определение кинематической вязкости реактивных топлив по ГОСТ 33-2000 при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ .

В ходе лабораторной работы предстоит определение температуры начала помутнения реактивного топлива ТС-1 по ГОСТ 5066-91 с использованием аппарата КРИСТАЛЛ-10М.

Сущность испытания состоит в определении изменения прозрачности образца авиатоплива при понижении температуры до значительных отрицательных значений. При охлаждении прозрачное топливо при определенной температуре начинает мутнеть. Это происходит в результате того, что в его составе присутствует определенное количество воды, которая образует мельчайшие кристаллы льда при температурах ниже нуля градусов Цельсия. В результате образующиеся кристаллы льда становятся центрами кристаллизации, вокруг которых начинается образование крупных кристаллических структур, состоящих из углеводородов с высокими температурами застывания, присутствующие в составе топлив, в конечном итоге, при дальнейшем понижении температуры испытания происходит интенсивное кристаллообразование в объеме топлива, в результате чего оно мутнеет, что является признаком ухудшения его эксплуатационных характеристик. Испытание проводят на аппарате КРИСТАЛЛ 10 м, общий вид которого приведен на рис. 2.

### ***Методика проведения испытания***

#### ***Проведение испытания***

Испытание проводят с использованием аппарата КРИСТАЛЛ-10М. Это моноблок в нижней части лицевой стороны которого расположены электронные схемы измерения, управления и питания. На лицевую панель выведены:

- дисплей для отображения информации о состоянии аппарата,
- клавиатура для управления работой аппарата.

В верхней части передней панели расположен окуляр для визуального наблюдения за изменениями, происходящими в сосуде с опытным образцом. В верхней части задней панели прибора справа установлена емкость для заливки пробы продукта, а ниже – трубки для подключения аппарата к крану с холодной водой, для обеспечения нормальной работы системы охлаждения аппарата.

Мешалка для перемешивания пробы продукта включается автоматически при запуске испытания.

В чистый сухой сосуд для пробы помещают 25 см<sup>3</sup> топлива. Сосуд плотно закрывают пробкой, поддерживающей мешалку и термометр, и регулируют положение термометра так, чтобы его шарик располагался в центре пробы топлива. Пропускают одну каплю спирта вниз по мешалке для увлажнения уплотнения и сжимают уплотнение как можно сильнее, обеспечивая плавное перемещение мешалки без применения чрезмерного усилия.



Рис. 2. Аппарат КРИСТАЛЛ-10Э

Для начала испытания аппарат подключают к электросети и включают тумблер «Сеть». После этого аппарат начинает самодиагностику и на дисплее появляется информационная заставка. При выявлении неисправностей на дисплее появляется соответствующее сообщение. Дальнейшая работа аппарата невозможна до устранения неисправности. В случае отсутствия ошибок аппарат переходит в режим ожидания.

#### ***Работа в стандартном режиме***

В работе в ручном режиме (Режим А).

В режиме ожидания нажмите клавишу «Режим» (аппарат переходит в стандартный режим работы).

В режиме ожидания на дисплей выводится следующая информация:

- режим испытания;
- наименование продукта;
- ожидаемая температура начала помутнения (или кристаллизации);
- текущая температура продукта и хладагента.

Нажмите клавишу «Пуск».

Аппарат перейдет в режим измерения и начнет охлаждения испытуемого образца с максимальной скоростью. При этом включается интенсивное перемешивание пробы. На дисплей выводится следующая информация:

- режим испытания;
- наименование продукта
- ожидаемая температура начала помутнения;

– текущая температура пробы.

При достижении температуры пробы на  $5^{\circ}\text{C}$  выше ожидаемой температуры помутнения, скорость охлаждения замедляется до заданной по требованиям ГОСТ. Через каждый градус понижения температуры раздается звуковой сигнал. На дисплей выводится значение температуры начала помутнения (до достижения этой температуры в соответствующей графе на дисплее изображен прочерк).

Если при наличии растворенной воды появилось помутнение, препятствующее наблюдению кристаллов углеводорода, то пробу перед испытанием следует просушить над безводным сульфатом натрия.

#### ***Точность определения***

За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов двух последовательных определений (каждый раз в чистую ячейку заливают новую пробу). Результат округляют до  $0,5^{\circ}\text{C}$

#### ***Сходимость результатов***

Расхождение между результатами параллельных определений, выполненных одним и тем же лаборантом, не должно превышать  $0,7^{\circ}\text{C}$  (при 95 %-ном доверительном уровне).

#### ***Экспериментальная часть***

Эксперимент проводят с использованием аппарата КРИСТАЛЛ 10м. В качестве объекта испытаний используют топливо ТС-1 по вышеописанной методике. По результатам испытаний составляют протокол, содержащий сведения о методе проводимых испытаний названии продукта и полученные результаты, по которым делается заключение о пригодности данной продукции к применению по данному показателю.

#### ***Контрольные вопросы***

1. Определите актуальность проверки низкотемпературных свойств авиационных ГСМ.
2. Какие физико-химические методы используют для оценки низкотемпературных свойств авиаГСМ?
3. Опишите сущность определения температуры начала помутнения реактивных топлив
4. Как проводится определение температуры начала помутнения топлива ТС-1 на аппарате КРИСТАЛЛ 10М?
5. Как оцениваются точность определения данного показателя по ГОСТ 5066?

## Лабораторная работа № 2. Смазочные свойства масел

### *Цель работы:*

- ознакомить студентов с основными понятиями и методами оценки смазывающих свойств масел в узлах трения;
- получить практические навыки определения смазывающих свойств масел на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 по ГОСТ 9490;
- научить прогнозировать по результатам испытаний на ЧМТ возможность применения смазочных материалов в различных узлах трения авиационной техники и оптимизировать ресурс их работы за счет правильного подбора смазочных материалов.

### *Введение*

Под смазывающей способностью масла (маслянистостью) понимают способность веществ, входящих в его состав, образовывать на трущихся поверхностях прочную молекулярную пленку, которая препятствует непосредственному соприкосновению этих поверхностей. Это свойство масла особенно важно в условиях граничного трения характерного для работы пар трения в авиационных поршневых и турбовинтовых двигателях и некоторых других тяжело нагруженных узлов на борту ЛА.

Маслянистость масел зависит от их химического состава. Присутствие в маслах жирных кислот и других поверхностно-активных соединений повышает их маслянистость, поэтому, чем лучше очищено минеральное масло, тем хуже его маслянистость. В стандартах на смазочные масла показатель маслянистости отсутствует, так как еще не разработаны стандартные методы его определения. Однако, на практике, для оценки смазывающей (трибологической) способности масел пользуются специальными четырехшариковыми машинами трения (ЧШМ), в которых прочность масляной пленки определяется, по ряду характеристик (диаметру пятна износа  $D_{и}$ , индексу задира  $I_z$ , усилию сваривания  $P_c$ ). Испытания проводятся при заданных стандартных условиях испытания, приведенных в нормативной документации на каждый вид масла. Чем выше нормативы по этим показателям, тем лучшей смазывающей способностью обладает испытываемое масло.

Для повышения смазывающих свойств масел применяют специальные противоизносные и противозадирные присадки, а также синтетические масла которые, за счет химического взаимодействия с молекулами сплавов из которых изготовлены детали узлов трения в условиях эксплуатации при высоких температурах и нагрузках проникают в структуру металлов, модифицируют ее и облегчают нагрузки в узлах трения, продлевая ресурс работы, за счет снижения явлений задира и износа, пагубно влияющих на состояние трущихся поверхностей, уменьшающих срок их эксплуатации.

Сущность испытаний трибологических (смазывающих) свойств масел состоит в измерении диаметров пятна износа шариков из нержавеющей стали стандартного состава и размеров в различных условиях с последующей оценкой соответствия полученных результатов с требованиям НТД на эти

масла. Испытания проводят на стандартной машине ЧМТ-1, изображенной на рис. 1.

Машина 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 шара. Электродвигатель закреплен на муфте, приспособленной для установки чаши, в которой неподвижно закрепляют три нижних шара. После фиксации шаров в чашу заливают испытуемое масло так, чтобы оно полностью покрыло шары. Чашу устанавливают в нижней части муфты на подвижное нагрузочное устройство, с помощью которого все четыре шара вводятся в плотный контакт, а рычаг с устройством для изменения нагрузки с применением разновесов (как в товарных весах) позволяет создавать необходимую нагрузку в ходе испытаний. Общий вид испытательного узла машины ЧМТ-1 изображен на рис. 2

На рис.3 изображена схема чаши с закрепленными в ней шарами, подготовленная к испытанию масла.



Рис. 1. Общий вид четырехшариковой машины трения ЧМТ-1

В нижней части моноблока расположены электромеханические устройства, обеспечивающие электропитание двигателя, реле времени, определяющее продолжительность испытаний и блокирующее устройство электропитания, отключающее электродвигатель в случае заклинивания

шариков в ходе испытаний из-за их сваривания при достижении предельных нагрузок испытания.



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

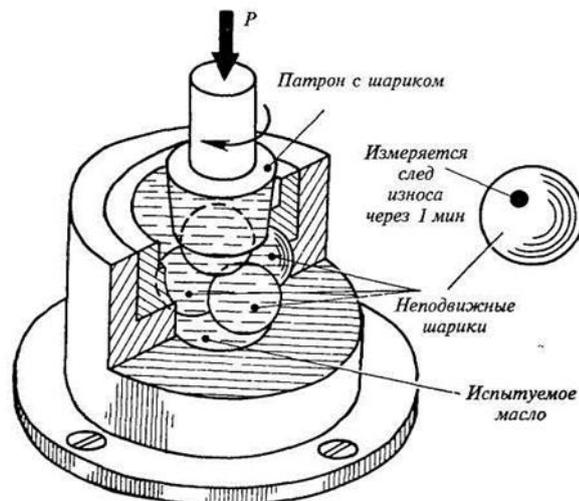


Рис.3. Общий вид чаши с шарами для проведения испытаний масла

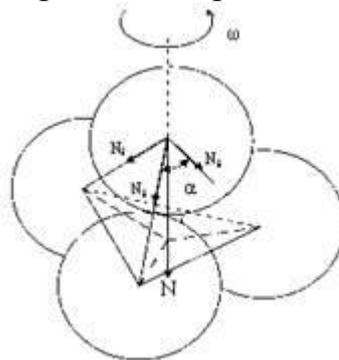


Рис.4. Схема контакта шаров в процессе проведения испытаний трибологических характеристик масла на машине ЧМТ-1

Схема контактного взаимодействия шаров в ходе испытаний приведена на рис.4.

В ходе испытаний проводят следующие замеры:

- **определение размера диаметра пятна износа  $D_{и}$** , образующегося в результате взаимодействия шаров в ходе 60 минутного испытания при стандартной нагрузке на испытуемое масло (стандартной величиной нагрузки считают 196 н, если в НТД на испытуемое масла не предусмотрена иная величина). Диаметр пятна износа определяют по двум координатам на каждом из трех шаров с применением цифрового микроскопа с программным обеспечением, позволяющем измерять линейные размеры пятна с точностью 0,1 мм. За значение  $D_{и}$  принимают среднее арифметическое шести полученных измерений этой величины на всех трех шарах. Примерный вид шара после испытаний приведен на рис. 5.

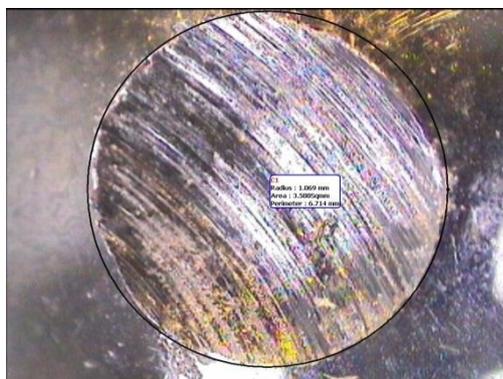


Рис 5. Вид пятна износа после испытаний

- **определение критической нагрузки –  $P_k$**  в процессе последовательных 10 секундных испытаний с последовательным увеличением нагрузки в ходе каждого определения по схеме, нормируемой в ГОСТ 9490. После каждого 10 секундного определения измеряются диаметры пятен износа так как описано в предыдущем пункте и строится график зависимости их средних значений при каждой нагрузке от величины нагружения узла трения. За величину  $P_k$  принимают нагрузку, соответствующую точке перегиба на графике. Типовой вид кривых определения  $P_k$  для масел различной вязкости приведен на рис.6.
- **определение индекса задира  $I_z$**  – показателя, отражающего максимальную нагрузку, которую способно выдержать масло до перехода к режиму сухого трения. Индекс задира определяется по формуле:

$$I_z = \frac{Q_i}{n},$$

где  $\Sigma Q_i$  - сумма условных нагрузок по нагрузочному ряду от начальной нагрузки до ближайшей нагрузки, предшествующей нагрузке сваривания;

$n$  - число определений по нагрузочному ряду.

Условную нагрузку ( $Q_i$ ), Н (кгс), для каждой осевой нагрузки по нагрузочному ряду вычисляют по формуле

$$Q_i = P_i(d_{Гi} / d_{иi}),$$

где  $P_i$  - осевая нагрузка, Н (кгс), по нагрузочному ряду;

$d_{Гi}$  - диаметр зоны упругой деформации шариков по Герцу, мм, при нагрузке  $P_i$ , Н (кгс);

$d_{иi}$  - средний диаметр пятен износа нижних шариков, мм, при нагрузке  $P_i$ , Н (кгс).

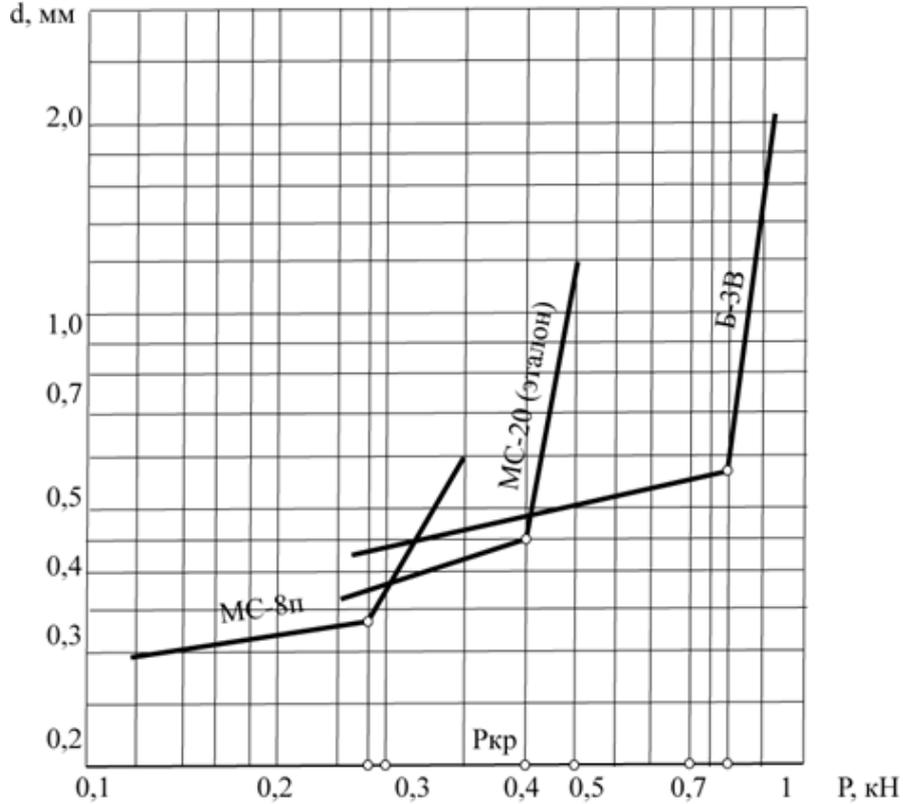


Рис. 6. Диаграммы определения  $P_k$  для нескольких марок масел

- **определение нагрузки сваривания** –  $P_c$ , т.е. предельной нагрузки, при которой происходит сваривание шариков в неразъемный блок в результате воздействия запредельных нагрузок, при которых масло окончательно утрачивает свои функциональные свойства.

Для определения нагрузки сваривания проводят последовательные 10 секундные циклы с возрастающей нагрузкой на шары по схеме, приведенной в приложении.

Полученные при этих циклах нагрузки результаты используют и при расчете индекса задира.

#### **Экспериментальная часть**

Для оценки трибологических характеристик в ходе лабораторной работы используется масло МС-20, широко распространенное для смазки узлов поршневых двигателей и ТВД отечественного производства.

После ознакомления с инструкцией по эксплуатации машины ЧМТ-1, студенты:

- собирают чашу, закрепляя в ней три шара и устанавливают сверху уплотняющую шайбу (все операции с подготовкой чаши приведены на рис. 7);
- привинчивают верхнюю муфту для фиксации шаров в чаше с применением специального накидного ключа и выступов на рабочем столе машины; заполняют чашу испытуемым маслом так, чтобы шары находились полностью под слоем масла, но уровень его не должен доходить до верхней кромки муфты;
- укрепляют в цанге четвертый шар и с помощью специального ключа закрепляют цангу на нижнем конце вала электродвигателя;
- устанавливают собранный узел на рабочую площадку нагрузочного узла машины и отпускают рычаг, вводя в контакт все четыре шара;
- на нижний диск рычага навешивают необходимое количество разновесов из комплекта машины для создания необходимой нагрузки при проведении испытания;
- устанавливают в рабочее положение предохранительное устройство, отключающее электропитание при предельных значениях усилий в ходе испытания;
- опускают щиток маслоотбойника для предотвращения разбрызгивания масла в ходе испытаний;
- тумблером на передней панели на нижней части моноблока устанавливают продолжительность испытания 10 с;
- включают кнопку «Пуск»;
- после автоматической остановки электродвигателя рычагом фиксируют разъединение чаши и верхней цанги, снимают предохранительное устройство и извлекают чашу с шарами с рабочей площадки нагрузочного узла;
- сливают остатки масла после испытания, устанавливают чашу на выступах рабочего стола и с помощью накидного ключа снимают уплотнительную шайбу с чаши, разбирают ее и извлекают шары для проведения измерений диаметра пятна износа на цифровом микроскопе;
- определяют результаты измерений диаметра пятна износа по двум перпендикулярным осям с точностью до 0,1 мм;
- результаты измерений заносят в табл. 1.



Рис. 7. Монтаж шаров

После заполнения одной строки таблицы испытания повторяют со следующей по величине нагрузкой, приведенной в руководстве по эксплуатации ЧМТ-1. Испытание повторяют 5-8 раз с последовательно увеличивающимися нагрузками. По средним значениям диаметров пятен износа, определенных при разных нагрузках строят график аналогичный рис. 6, по которому определяют точку перегиба кривой. Величина нагрузки, соответствующая точке перегиба на кривой принимается за  $P_k$ .

Таблица 1

Результаты измерений диаметров пятен износа шаров  
 Название масла и дата проведения испытания

| Нагрузка<br>испытания, кг<br>(Н) | Диаметр пятна износа, мм |               |               |                     |
|----------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------------|
|                                  | 1 шар                    | 2 шар         | 3 шар         | Средняя<br>величина |
|                                  | гор.<br>верт.            | гор.<br>верт. | гор.<br>верт. |                     |
|                                  | гор.<br>верт.            | гор.<br>верт. | гор.<br>верт. |                     |
|                                  | гор.<br>верт.            | гор.<br>верт. | гор.<br>верт. |                     |

### **Контрольные вопросы**

1. Определите физический смысл понятия смазывающие свойства масел и его значение при эксплуатации узлов трения.
2. Какими средствами улучшаются трибологические свойства масел?
3. Какими методами определяют трибологические характеристики масел?
4. Объясните физический смысл определения критической нагрузки и опишите методику его определения.

5. объясните физический смысл определения индекса задира и опишите методику его определения.
6. В чем состоит смысл понятия «нагрузка сваривания»?
7. Какие измерения положены в основу расчета критической нагрузки, индекса задира и нагрузки сваривания, как они выполняются?

### **Лабораторная работа № 3. Определение класса чистоты гидрожидкости АМГ-10 с использованием анализатора ГРАН 152-1**

#### *Цель работы:*

- ознакомить студентов с особенностями использования гидрожидкостей в системах управления ВС;
- научить методам оценки чистоты гидрожидкостей;
- обучить студентов методике определения класса чистоты на анализаторе ГРАН 152-1.

#### *Введение*

Все воздушные суда (ВС) оборудованы гидросистемами для обеспечения легкости и простоты управления основными агрегатами самолета на всех этапах его эксплуатации. Рабочим телом любой гидросистемы является гидрожидкость. С помощью нее управляющее воздействие, передаваемое пилотом доходит до исполнительного механизма. Четкость и скорость передачи команды на исполнение зависит от состояния регулирующих устройств гидросистемы, ключевыми элементами которой являются золотниковые механизмы и другие элементы регулирования (клапаны, насосы, подшипники). От их надежной работы в огромной степени зависит безопасность полета ВС. А это условие обеспечивается безукоризненным состоянием их рабочих поверхностей. В случае появления отложений, связанных с отклонениями в рабочем режиме гидрожидкостей, на поверхностях золотников образуются смолистые отложения или частицы механических примесей, приводящие к нарушению режимов и скоростей передачи команды на исполнительные механизмы, приводящие к созданию предпосылок к летным происшествиям.

Кроме того, прогрессирующее падение КПД гидросистемы в ходе эксплуатации возникает вследствие нарастания износа отдельных элементов гидросистемы за счет увеличения зазоров между контактирующими поверхностями. Результатом этого могут быть внутренние утечки. Потеря мощности со временем увеличивается настолько, что возникает необходимость их замены. Падение КПД часто начинаются из-за начальных повреждений уже на пробном запуске. На наличие повреждения в системе указывают следующие симптомы:

- более длительный рабочий цикл;
- слишком высокая вибрация подшипников;
- падение давления гидрожидкости;
- повышение температуры гидрожидкости.

Все вышесказанное объясняет высокие требования, которые предъявляют к гидрожидкости по показателю «класс чистоты». При этом чистота жидкости определяется как перед ее заправкой в ВС, так и в ходе ее эксплуатации в гидросистеме, отслеживая накопление мехпримесей в гидрожидкости, не допуская превышения значений по классу чистоты выше допустимых значений, указанных в НТД.

Чистоту гидрожидкости контролируют несколькими способами.

Традиционным и самым распространенным является *весовой метод*, основанный на определении общего количества мехпримесей, собранных при фильтрации определенного объема жидкости через стандартный фильтр. Однако такой метод не дает представления об их гранулометрическом составе.

Более информативным является *микроскопический метод* подсчета частиц в поле зрения микроскопа и их дифференциации по размерам.

Подобный метод получил развитие и воплощение в методе «Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей» изложенный в ГОСТ 17216-2001. Определение класса чистоты по этому ГОСТу позволяет дать количественную оценку распределения в мехпримесях частиц по их величине и количеству, т.е. по их гранулометрическому составу и выразить эту величину эмпирическим показателем «*класс чистоты*», показывающим уровень чистоты жидкости, выраженный в числовом значении уровня ее загрязнений. Чем выше класс чистоты жидкости, тем больше в ней загрязняющих частиц. Приемлемым уровнем данного показателя для авиационных гидрожидкостей считается 9-12 класс. Более точное нормируемое значение содержится в НТД на каждую товарную гидрожидкость.

Определение класса чистоты в современных лабораториях проводится на серийно выпускающихся анализаторах этого показателя, позволяющих быстро, достоверно и без больших трудозатрат и длительного времени определить класс чистоты товарных гидрожидкостей.

Одним из таких приборов является анализатор ГРАН 152.1 отечественного производства.

#### ***Конструкция анализатора ГРАН-152, ГРАН-152.1***

Анализатор собран в двух объединённых в единую конструкцию металлических корпусах, в которых размещены функциональные блоки:

- оптический блок;
- блок системы АСК;
- микропроцессорный блок управления и обработки данных;
- блок стабилизированных источников питания;
- электромеханическая мешалка;
- поршневой насос (дозатор).

Основные функциональные блоки анализатора выполнены съёмными, что облегчает их замену и ремонт. Для удобства доступа к элементам электрической схемы анализатора его лицевая панель выполнена откидной.

Общий вид анализатора изображен на рис. 1-2.

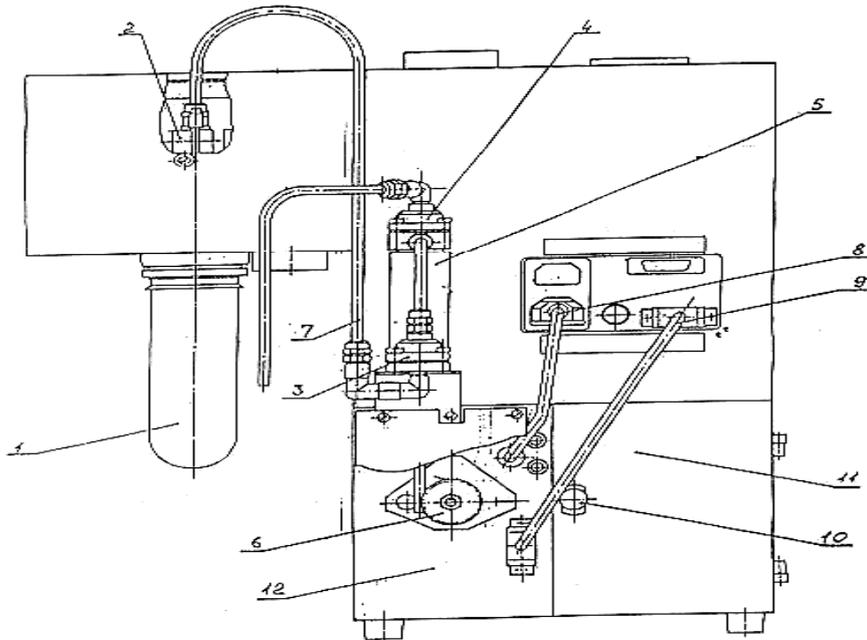


Рис.1. Анализатор механических примесей ГРАН-152, ГРАН-152.1 (вид сзади): 1 - пробоотборник; 2 - кювета; 3 - входной клапан; 4 - выходной клапан; 5 - цилиндр; 6 - привод поршня; 7 - соединительная трубка; 8 - кабель питания двигателя; 9 - кабель управления; 10 - винт; 11 - дверца; 12 - блок дозатора

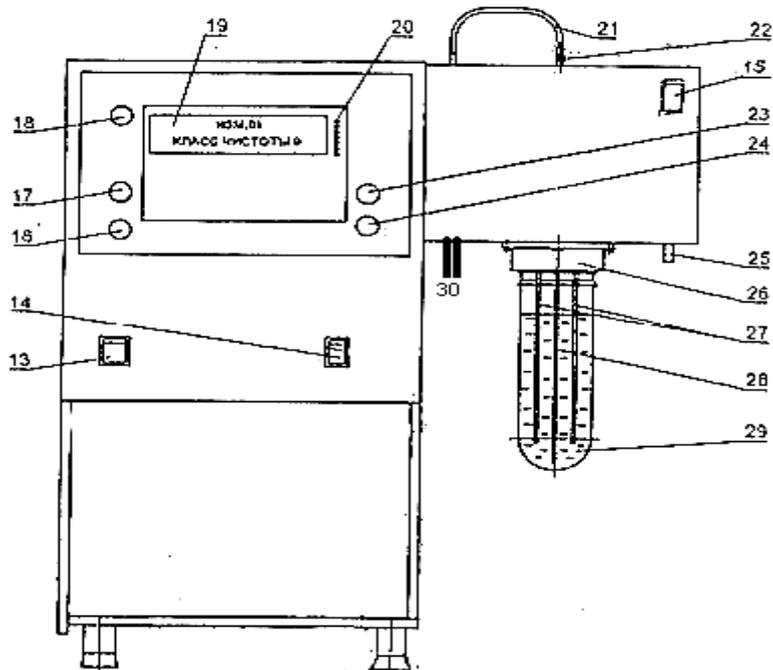


Рис.2. Анализатор механических примесей ГРАН-152, ГРАН-152.1 (вид спереди): 13 - выключатель «Сеть»; 14 - выключатель «Принтер»; 15 - выключатель «Мешалка»; 16 - кнопка «ДА»; 17- кнопка «НЕТ»; 18 - кнопка «Сброс»; 19 - алфавитно-цифровой индикатор (АЦИ); 20 - «линейка» светодиодов; 21 - трубка; 22 - выходной штуцер кюветы; 23 - кнопка «Лента»;

24 - кнопка «МП» (Reset); 26 - гнездо мешалки; 27 - лопасти; 28 - отсасывающая трубка; 29 - пробоотборник; 30 - сливная трубка

### ***Принцип действия прибора***

Анализируемая проба гидрожидкости (см. рис.1), находящаяся в пробоотборнике 1 под действием разрежения, создаваемого поршневым насосом 6, прокачивается через проточную кювету 2 и направляется на слив.

Кювета просвечивается пучком света, создающимся осветителем. Свет проходит через кювету регистрируется фотоприемником (ФЭУ), который преобразует световое излучение в электрические импульсы, а они поступают на микропроцессорный блок обработки и управления. Каждая из частиц, находящихся во взвешенном состоянии объема пробы при пересечении просвечивающей зоны кюветы (зоны регистрации) кратковременно экранирует световой поток. При этом в ФЭУ формируются электрический импульс, амплитуда которого пропорциональна площади зоны регистрации перекрытой поперечным сечением частицы. Импульсы, вырабатываемые в моменты пересечения частицами зоны регистрации, поступают на входы пяти пороговых устройств (компараторов), посредством которых, последние классифицируются по амплитудам на пять отдельных групп, адекватных размерам групп частиц в интервалах:

- от 5 до 10 мкм;
- от 10 до 25 мкм;
- от 35 до 50 мкм;
- от 50 до 100 мкм;
- от 100 и более мкм.

С выходов компараторов электрические импульсы поступают в электронный блок, в котором они регистрируются по пяти различным каналам, соответствующим частицам разного размера в вышеперечисленных интервалах. В результате автоматической переработки информации на экран 19 (рис. 2) выводятся результаты подсчета частиц по группам и итоговый класс чистоты анализируемой пробы по классификации ГОСТ 17216.

Перед началом измерения происходит автоматическая калибровка прибора.

### ***Экспериментальная часть***

Предварительно отобранная проба гидрожидкости, с соблюдением всех правил обращения при определении класса чистоты, устанавливается в пробоотборнике на свое рабочее место. После этого анализатор включается выключателем 13 (рис 2) при этом загорается табло 19 цифрового индикатора и запускается пошаговая программа тестирования анализатора.

При этом каждый раз на табло высвечивается очередной запрос, на который пользователь должен ответить нажатием кнопки 16 –«ДА» или 17

«НЕТ». Анализатор должен быть откалиброван на жидкость, аналогичную анализируемой жидкости.

Порядок прохождения тестирования:

→ пробу тщательно перемешать перед началом анализа включив кнопку 15 «Мешалка» → дать отстояться пробе после выхода из жидкости пузырьков газа → анализатор перевести в режим подсчета частиц кнопкой 24 → установить объем, в котором требуется определить класс чистоты жидкости → включить режим подсчета частиц → наблюдать за режимом счета частиц по мельканию светодиодов на линейке 20 → после окончания прокачки режима (кювета становится пустой) на табло цифрового индикатора выводятся результаты подсчета частиц по измеряемым интервалам, а на принтере после нажатия на этом блоке кнопки «Пуск» полученные результаты распечатываются в виде чека с информацией по количеству частиц в каждом измеряемом интервале и итоговому классу чистоты по ГОСТ 17216. По полученным результатам принимается решение о возможности применения партии гидрожидкости, которая подверглась анализу.

Ход выполнения работы и итоговые выводы оформляются в виде отчета о проведении работы.

### ***Контрольные вопросы***

1. Какую функцию выполняют гидрожидкости в системе управления ВС?
2. Почему чистоте гидрожидкости уделяют особое внимание при эксплуатации ВС?
3. Как изменяется состояние гидрожидкости в гидросистеме в процессе ее эксплуатации на борту ВС?
4. Перечислите методы оценки чистоты гидрожидкости, используемые при эксплуатации ВС?
5. Опишите принцип работы и методику проведения анализа класса чистоты по ГОСТ 17216 на анализаторе ГРАН 152.1.

### **Лабораторная работа № 4. Оценка состава механических примесей в моторных маслах с целью определения остаточного ресурса их работы с использованием анализатора «Призма»**

*Цель работы:*

- ознакомить студентов с современными методами анализа механических примесей в моторных маслах с целью уточнения остаточного ресурса их работы в узлах трения агрегатов воздушных судов (ВС).
- при проведении ремонтных и регламентных работ узлов и агрегатов ВС научить оценивать их состояние и объем работ по составу мехпримесей из отобранных образцов масел.
- научить работать на анализаторе «Призма».

### ***Введение***

Одним из важнейших показателей, определяющих эксплуатационные свойства масел в условиях эксплуатации, является наличие и накопление в их составе механических примесей, состоящих из продуктов износа, образующихся вследствие микроразрушений конструкционных материалов, из которых изготовлены трущиеся пары в узлах и агрегатах ВС в процессе эксплуатации. Эти явления связаны с одной стороны со значительными механическими нагрузками в узлах трения, приводящими к их частичному разрушению с образованием металлических продуктов износа, а с другой стороны - постепенное изменения свойств моторного масла, работающего в узле трения в ходе его ресурсного цикла, связанное с изменением его химического состава и деструкцией присадок, входивших в состав свежего товарного масла. В результате комбинации этих процессов в масле образуются механические примеси. Отобрав представительную пробу работавшего масла с разных этапов его ресурсного цикла можно провести оценку его остаточного ресурса до замены, а также составить представление о состоянии конструкционных материалов деталей, из которых изготовлены узлы и агрегаты ВС, нуждающиеся в смазке. Такие возможности появились в последние годы в результате разработки аналитических методов определения остаточного ресурса по состоянию, широко внедряемые как в нашей стране, так и за рубежом. В целом, они позволяют более объективно оценивать реальный остаточный ресурс работы оборудования и за счет этого обеспечивать безопасную эксплуатацию ВС. Одним из таких методов, внедренных в последние годы в России является определение остаточного ресурса работы масел в авиадвигателях, внедренный в практику работы предприятий ГА с использованием анализатора «Призма» отечественной разработки.

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

Внешний вид АДК «Призма» показан на рис. 1.

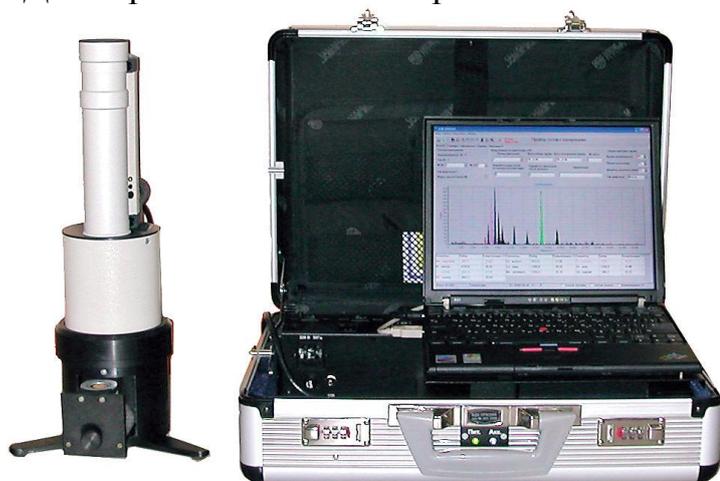


Рис. 1. Внешний вид АДК «Призма»

### *Принцип действия анализатора*

Рентгенофлуоресцентный метод - метод анализа, используемый для определения концентраций элементов от кальция до урана в диапазоне от 0.0001% до 100% массового содержания в веществах различного происхождения.

Анализ содержания металлов в масле, осуществляемый на установке АДК «Призма», позволяет 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. Фильтр устанавливается в кювету рентгенофлуоресцентного анализатора.

При облучении образца потоком излучения рентгеновской трубки возникает характеристическое флуоресцентное излучение атомов, которое 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.

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 г/т, что соответствует требованиям, предъявляемым конструкторами агрегатов ВС к уровню допустимых концентраций металлов в масле. Так, для двигателя ПС-

90 нормируется содержание железа в масле не более 2 г/т. В АДК «Призма» в качестве вещества стандарта используется металл иттрий.

Анализ и обработка результатов измерений проводится в автоматическом режиме. Для этого разработаны методики анализа многих элементов для различных типов веществ. Методики реализованы в виде компьютерных программ. Во время измерения компьютер управляет всеми узлами спектрометра в соответствии с заданной программой анализа.

### *Подготовка и проведение испытаний*

Отобранная для анализа проба поступает в лабораторию и в объеме от 25 мл прокачивается через фильтр для осаждения на нем частиц металлов с помощью откачивающего насоса (рис. 2).

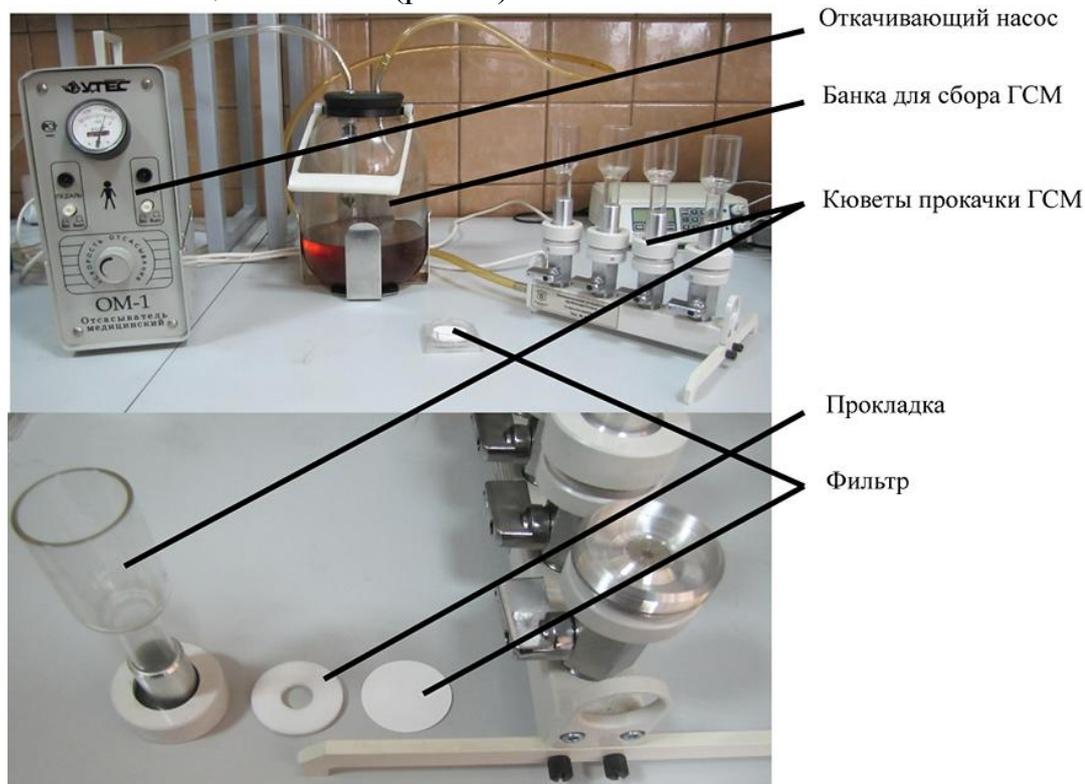


Рис. 2. Общий вид устройств для подготовки проб

Подготовленный таким образом фильтр помещается в кювету рентгенофлуоресцентного анализатора (рис. 3).



Рис. 3. Аналитический блок анализатора с фильтром

Далее оператором запускается программа автоматического распознавания металлов и их количества в пробе. Анализ проходит в течение заданного оператором времени (обычно, 60 сек).

Программа выдает состав пробы на экране монитора (рис. 4).

По полученным результатам можно оценить ассортимент металлов, составляющих механические примеси в масле с высокой точностью их перечень изображен в нижней части рисунка 4.

Программное обеспечение анализатора по составу мехпримесей позволяет с большой точностью определять марку сплава, из которого состоят продукты износа составляющие мехпримеси (режим «сплав»). Это намного облегчает задачу технологов по выявлению того узла, который разрушается в процессе эксплуатации и требует обслуживания в ходе ремонта агрегатов и узлов. Одной из опций программного обеспечения, используемого в анализаторе, является также и определение трендов в ходе эксплуатационного ресурса масла в данном агрегате (режим анализатора «тренды»), позволяющий наглядно оценить реальное накопление продуктов износа в составе конкретной партии масла, залитого агрегат ВС.

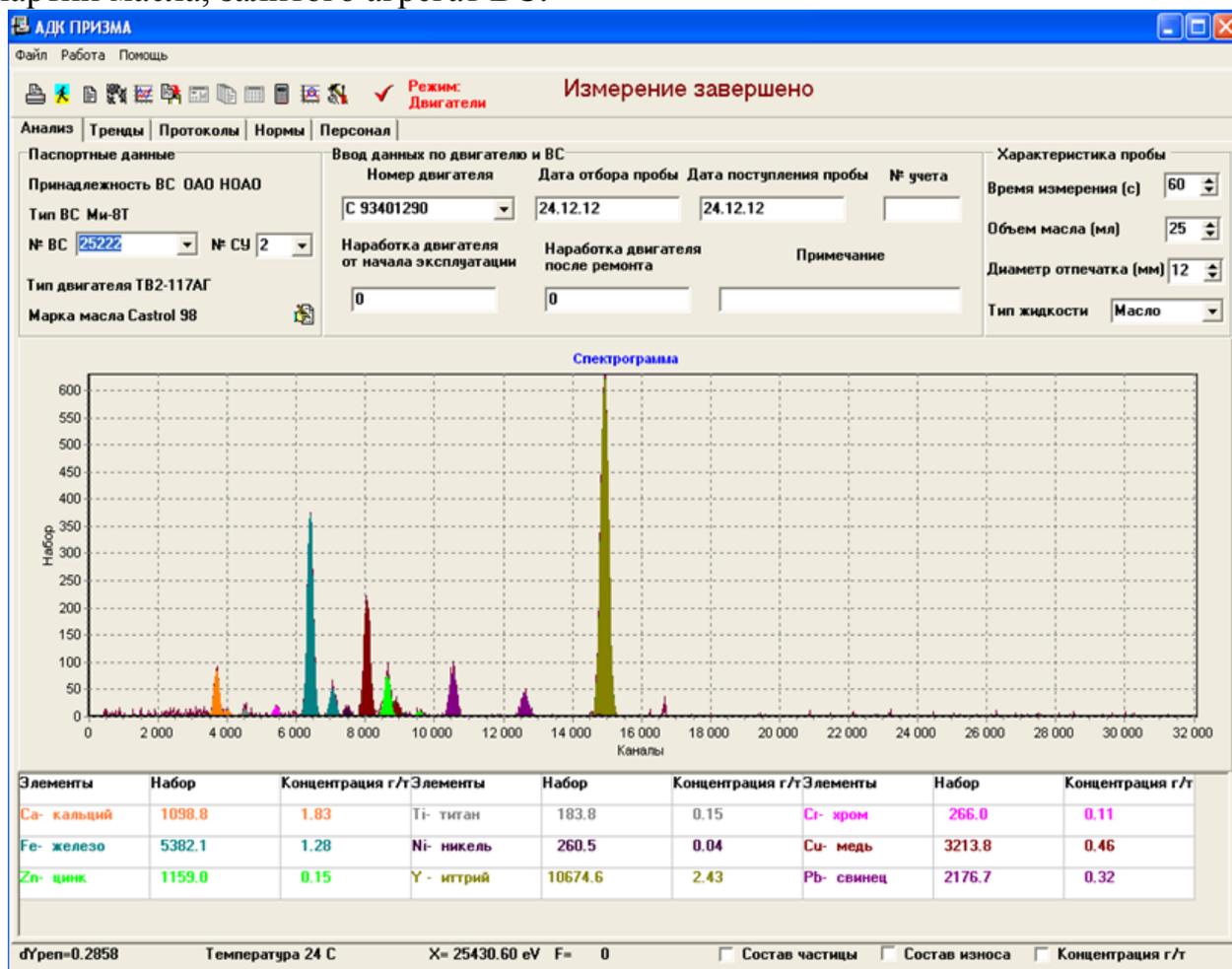


Рис. 4. Результат анализа на АДК «Призма»

### ***Экспериментальная часть***

После ознакомления с инструкцией эксплуатации прибора студенты проводят подготовку и проведение анализа образцов масла по указанию преподавателя. Для этого необходимо:

- собрать устройство для фильтрования, изображенное на рис.2 для чего:
  - отвинтить накидную гайку, крепящую кювету прокачки ГСМ;
  - разместить в гнезде держателя фильтр, установить уплотняющую фторопластовую прокладку и завернуть кювету прокачки ГСМ на узел фильтрации;
- измерить ареометром плотность масла;
- цилиндром отмерить необходимый для испытаний объем масла (25-50 мл);
- включить откачивающий вакуумный насос и отрегулировать величину остаточного давления, создаваемого в системе до уровня 50-70%
- аккуратно залить масло из цилиндра в кювету и перевести ручку крана, находящегося под кюветой в вертикальное положение;
- наблюдать за ходом фильтрации образца;
- после того, как весь объем масла профильтруется, промыть кювету бензином для полного смыва 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 вложить в выдвижную часть блока анализатора, осторожно закрыть выдвижную часть блока и на мониторе заполнить все необходимые окна, указать информацию об анализируемом образце масла, в том числе его марку, объем профильтрованного образца и плотность. После этого включить режим измерения, которое длится 60 секунд.

После окончания измерения записать в протокол испытаний полученные результаты и оценить прогноз остаточного ресурса его работы по измеренным концентрациям металлов, исходя из того, что допустимая концентрация железа в масле не должна превышать 2 г/т.

### ***Контрольные вопросы***

1. С какой целью проводится анализ масел, отобранных из агрегатов ВС?
2. Объясните, как накапливаются механические примеси в узлах трения, из чего они состоят и как влияют на работу агрегатов ВС?
3. Опишите методику оценки остаточного ресурса агрегатов ВС и масла, используемого для их смазки.
4. Опишите принцип работы анализатора АДК «Призма».
5. Как готовится проба масла для анализа?

6. За счет каких приемов, обеспечивается точность и достоверность получаемых результатов?
7. Какие выводы можно сделать по результатам анализа мехпримесей в маслах?

### **Лабораторная работа № 5. Растворимость воды в топливах и маслах**

#### *Цель работы:*

- научить студента оценивать влияние присутствия воды на физико-химические и эксплуатационные свойства топлив и масел;
- знать методы борьбы с явлениями обводнения авиационных ГСМ;
- уметь количественно и качественно определять наличие воды в ГСМ в соответствии с ГОСТ 2477.

#### **Введение**

Размеры и физико-химические свойства молекул воды заметно отличаются от аналогичных характеристик углеводородов, составляющих основу топлив и масел, используемых в авиации. За счет этой разницы вода растворяется в авиаГСМ ограничено, но ее влияние на эксплуатационные свойства последних весьма существенно. Это придает особую актуальность контролю за содержанием воды в топливах и маслах на всех этапах их производства, хранения и применения на борту ВС.

В основном, негативное действие воды на свойства товарных продуктов связано с рядом свойств этих продуктов:

- природой химических веществ, составляющих основу ГСМ и возможностью растворения в них молекул воды. Так различные классы углеводородов имеют разную степень полярности, что влияет на способность их растворять воду. Наибольшей полярностью обладают ароматические углеводороды, тогда как полярность парафиновых и нафтеновых углеводородов значительно меньше.

С ростом молекулярной массы углеводородов, составляющих то или иное ГСМ, растворимость в них воды уменьшается. Таким образом, чем тяжелее топливо (больше его плотность и более широкие интервалы температур кипения), тем меньше растворимость в нем воды. Иными словами, растворимость воды в авиакеросине может быть больше, чем в маслах. Продукты окисления компонентов ГСМ также влияют на повышение растворимости воды.

Известное действие на растворимость воды в ГСМ оказывают и гетероатомные (серу, азот, фосфор, кислородсодержащие соединения), присутствующие в топливах и маслах в разных концентрациях.

- Температурой нефтепродуктов.

С повышением температуры растворимость воды во всех углеводородах повышается. Особенно заметно оно возрастает в ароматических соединениях. Понижение температуры приводит к снижению

растворимости воды и в этом случае может наступить состояние, при котором количество поглощенной воды превысит ее растворимость для данной температуры. Это приведет к выделению избыточной воды в виде капелек с образованием новой фазы. Максимальная растворимость воды в различных марках авиационных топлив приведена на рис. 1.

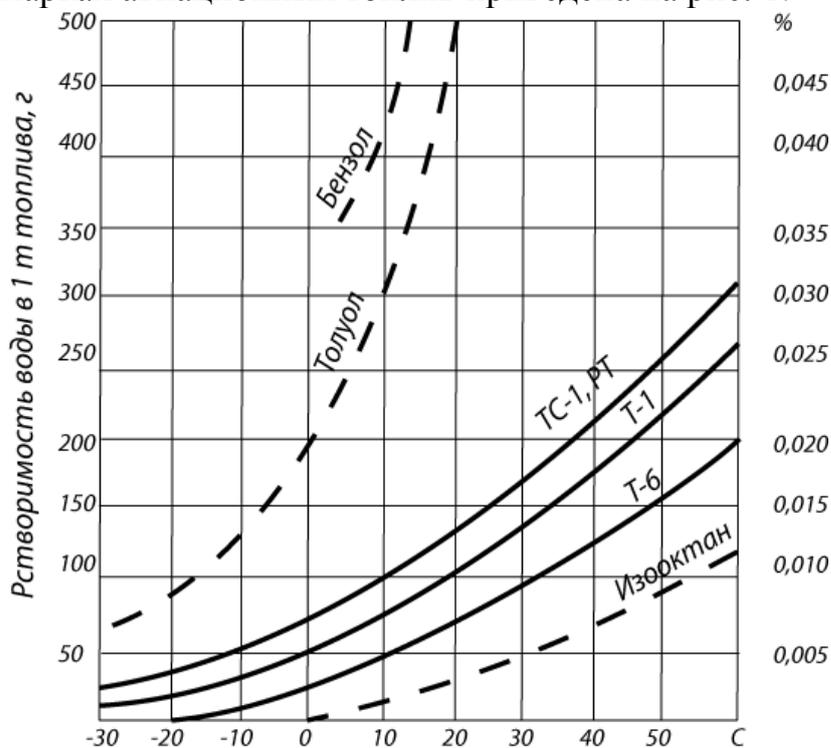


Рис.1. Максимальная растворимость воды в зависимости от температуры при давлении 0,1 Мпа. Для топлив: 1 – Б-70; 2 – Т-2; 3 – ТС-1; 4 – Т-1; 5 – Т-6

Таким образом, при нагревании топлива влага из надтопливного пространства переходит в топливо и растворяется в нем, тогда как при охлаждении образуется водно-углеводородная эмульсия или отстой, не успев перейти в паровую фазу. Аналогично ведут себя и масла.

- на растворимость воды в нефтепродуктах влияет и относительная влажность окружающего воздуха. В соответствии с законом Генри она увеличивается с ростом относительной влажности воздуха. При резком снижении давления водяных паров и с понижением температуры, растворенная вода не успевает перейти в воздух, образуя эмульсии или отстой. При низких температурах, микрокапли воды способны замерзнуть с образованием снежинок или кристаллов льда, которые со временем могут увеличиваться и способны забивать топливные и масляные фильтры, нарушая нормальную работу узлов и агрегатов воздушного судна, что в конечном итоге может создавать предпосылки к летным происшествиям. Все эти негативные эффекты проявляются при полетах ВС на больших высотах, где температура окружающей среды может опускаться до  $-60^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Все вышеперечисленные обстоятельства объясняют важность контроля концентрации воды в авиационных ГСМ в условиях их хранения и эксплуатации, обеспечивая уровень присутствия воды в ГСМ не превышающей требований НТД на товарные продукты. В практике лабораторного контроля существует много способов оценки концентрации воды, как качественных, так и количественных. Среди самых распространенных качественных методов оценки можно назвать «метод потрескивания», который заключается в том, что образец топлива или масла отбирают в пробирку и закрепив ее в специальном держателе осторожно вносят в пламя горелки. В случае присутствия воды в пробе в самых малых концентрациях при ее нагреве слышатся щелчки или потрескивание, связанные с испарением воды. Если количество щелчков превышает 2 -3, значит, проба обводнена. Другим, широко распространенным качественным методом определения присутствия воды в топливе, применяемым в гражданской авиации, является метод по ГОСТ 19820, основанный на изменении цвета индикаторного элемента прибора ПОЗ-Т, позволяющего определять наличие воды в пробе авиационного топлива при концентрациях более 0,001%.

К широко распространенным методам количественной оценки содержания воды в нефтепродуктах относятся метод по ГОСТ 2477, так называемый *метод Дина Старка*, заключающийся в перегонке образца ГСМ в смеси с предварительно обезвоженным растворителем (нефрасом или нефтяной фракцией, выкипающей в интервале 100 -200°C) в колбе с обратным холодильником и ловушкой для воды (более подробно суть этого метода изложена в экспериментальной части работы) в стеклянном приборе, изображенном на рис. 2.

С помощью данного метода можно определять концентрацию воды в пробе нефтепродукта, превышающей 0,03% с точностью 0,003%.

Наиболее точным и современным методом количественного определения воды, который в настоящее время внесен в НТД на авиационные топлива, является метод по Фишеру в соответствии с ГОСТ Р 54281-2010 в диапазоне от 10 до 250 000 мг|кг (от  $10^{-3}$ %).

Сущность метода заключается в том, что определенное количество образца вводят в титровальную ячейку кулонометрического аппарата Карла Фишера, в котором на аноде кулонометрически по реакции Карла Фишера выделяется йод. После оттитровывания всей воды избыток йода обнаруживают электрометрическим детектором конечной точки и завершают титрование. На основании реакции стехиометрии 1 моль йода реагирует с 1 молекулой воды; таким образом, согласно закону Фарадея количество воды является пропорциональным общему количеству потребленного тока.

Образец для испытания может быть взят по массе или по объему, поэтому в стандарте приведено два способа проведения испытания.

Данный метод требует сложного и дорогостоящего оборудования, специальных реактивов и высокой квалификации персонала, являясь

арбитражным методом по оценке содержания воды в авиационных ГСМ, поэтому его используют только в аккредитованных лабораториях высокого уровня и широкое применение его в лабораториях ТЭК в настоящее время ограничено.

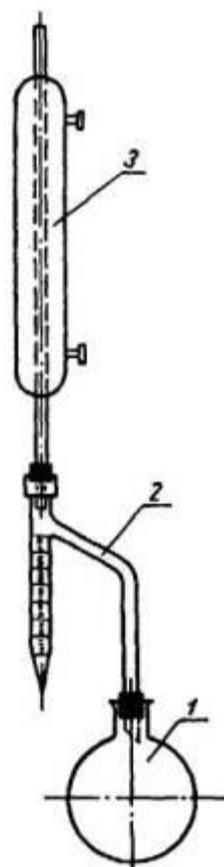


Рис. 2. Прибор для определения воды в нефтепродуктах по ГОСТ 2477: 1 - круглодонная колба вместимостью 500 мл; 2 – стеклянный алонж с ловушкой для воды; 3 – обратный холодильник

### *Экспериментальная часть*

Для определения содержания воды используется проба масла МС-20.

- В дистилляционную колбу вводят 10 см<sup>3</sup> пробы с погрешностью не более 1%.
- Затем цилиндром отмеривают в колбу 100 см<sup>3</sup> растворителя, тщательно перемешивают содержимое колбы до полного растворения испытуемого нефтепродукта и прибавляют в колбу несколько кусочков неглазурованного фаянса или фарфора.
- Аппаратуру для проведения испытания, изображенную на рис.2 собирают так, чтобы обеспечить герметичность всех соединений и исключить утечку пара и проникание посторонней влаги.

- Верхний конец холодильника закрывают неплотным ватным тампоном во избежание конденсации атмосферной влаги внутри трубки холодильника. Включают приток холодной воды в кожух холодильника.
- Узкогорлую колбу 1 соединяют непосредственно при помощи шлифа, с отводной трубкой чистого и сухого приемника-ловушки 2. К приемнику-ловушке присоединяют при помощи шлифа прочищенный ватой холодильник 3.

### ***Проведение испытания***

Включают нагреватель, содержимое колбы доводят до кипения и далее нагревают так, чтобы скорость конденсации дистиллята в приемник была от 2 до 5 капель в 1 с.

Если в процессе дистилляции происходит неустойчивое каплеобразование, то увеличивают скорость дистилляции или останавливают на несколько минут приток охлаждающей воды в холодильник.

Если под конец перегонки в трубке холодильника задерживаются капли воды, то их смывают растворителем, увеличив для этого на непродолжительное время интенсивность кипячения.

Перегонку прекращают, как только объем воды в приемнике-ловушке не будет увеличиваться и верхний слой растворителя станет совершенно прозрачным. Время перегонки должно быть не менее 30 и не более 60 мин.

Оставшиеся на стенках трубки холодильника капельки воды сталкивают в приемник-ловушку стеклянной палочкой или металлической проволокой.

После того, как колба охладится, а растворитель и вода в приемнике-ловушке примут температуру воздуха в комнате, аппарат разбирают и сталкивают стеклянной палочкой или проволокой капельки воды со стенок приемника-ловушки.

Затем записывают объем воды, собравшейся в приемнике-ловушке, с точностью до одного верхнего деления занимаемой водой части приемника-ловушки.

### ***Обработка результатов***

Массовую ( $X$ ) или объемную ( $X_1$ ) долю воды в процентах вычисляют по формулам

$$X = \frac{V_0}{m} \cdot 100;$$

$$X_1 = \frac{V_0}{V} \cdot 100,$$

где  $V_0$  - объем воды в приемнике-ловушке, см<sup>3</sup>;

$m$  - масса пробы, г;

$V$  - объем пробы, см<sup>3</sup>.

Результаты проведенных испытаний заносят в протокол и делают вывод о пригодности масла по данному показателю к использованию на борту ВС.

### ***Контрольные вопросы***

1. Рассмотрите природу взаимодействия воды с ГСМ в зависимости от их химического состава.
2. Как влияет температура и влажность воздуха на концентрацию воды в ГСМ?
3. Как влияет присутствие воды в ГСМ на эксплуатационные характеристики работы узлов и агрегатов ВС?
4. Перечислите методы количественного и качественного определения воды в ГСМ используемые на предприятиях ГА. Оцените их преимущества и недостатки.
5. Опишите сущность метода определения воды по ГОСТ 2477.
6. Опишите сущность метода определения воды по ГОСТ Р 54281.
7. Опишите порядок подготовки и проведения испытания образца масла МС-20 на приборе Дина Старка.

### **Лабораторная работа № 6. Определение температуры вспышки и воспламенения авиационных масел в открытом тигле**

#### *Цель работы:*

- привить студентам навыки и понимание значения характеристик воспламеняемости авиаГСМ для их эксплуатации на борту ВС;
- научить определять температуру вспышки и воспламенения авиационных масел по ГОСТ 4333.

#### ***Введение***

Все ГСМ, используемые в авиации, относятся к горючим (ГЖ) и легковоспламеняющимся (ЛВЖ) веществам, требующим повышенных предосторожностей по пожарной безопасности на всех этапах их хранения и применения. Оценка характеристик их воспламеняемости в смеси с воздухом основана на определении температур вспышки, воспламенения и самовоспламенения, которые строго нормируются для каждого вида ГСМ и присутствуют в НТД на каждую марку топлив, масел и спецжидкостей. Кроме этого существенными, с точки зрения пожарной безопасности, при работе с ГСМ являются концентрационные пределы воспламенения в смеси с воздухом, определяющие диапазон допустимых концентраций паров этих веществ в воздухе промышленных и рабочих объектов, исключающих возможность воспламенения их паров на объектах хранения и применения ГЖ и ЛВЖ.

***Температурой вспышки*** называется минимальная температура жидкости, при которой ее пары в смеси с воздухом при внесении источника открытого огня воспламеняются, но после его удаления горения не поддерживается.

***Температурой воспламенения*** называется минимальная температура жидкости, при которой ее пары в смеси с воздухом при внесении источника открытого огня воспламеняются, и после его удаления горение продолжается.

**Температурой самовоспламенения** называется минимальная температура жидкости, при которой ее пары в смеси с воздухом воспламеняются без внесения в них источника открытого огня.

В ряду перечисленных значений температур для каждой ГЖ и ЛВЖ величина последующей из перечисленных значений температуры увеличивается.

Для авиационных ГСМ чаще всего нормируется и контролируется температура вспышки. Существует два метода определения температуры вспышки. Это методы определения температуры вспышки в открытом (ГОСТ 4333) и закрытом (ГОСТ 6356) тигле. По своей сущности они различаются лишь по применяемой при испытаниях конструкции тиглей (т.е. емкостей, в которые наливают испытуемый продукт). В остальном, методики испытаний близки, и заключаются в программируемом нагреве образца жидкости до предполагаемой температуры вспышки, с периодическим (через каждые два градуса увеличения температуры жидкости) тестированием возможности воспламенения паровоздушной смеси над поверхностью пробы путем внесения в паровоздушную смесь источника открытого пламени. Минимальная температура жидкости, при которой пары воспламеняются, принимают за температуру вспышки.

Аппараты для определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле типов ТВО (ТВ-2) или полуавтоматические и автоматические типа АТВО (АТВ-2) используют для определения температуры вспышки по ГОСТ 4333.

Общий вид аппарата ТВО изображен на рис. 1.



Рис.1 общий вид аппарата ТВО

Аппарат 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, можно проверять возможность воспламенения паров над обрезом тигля при

текущей температуре жидкого образца. 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 – электроплитка, на которой установлен стандартный тигель (емкость) из цветного металла, с риской на внутренней поверхности, определяющей высоту налива образца в тигле. Для удобства работы тигель оснащен ручкой, исключающей касание оператора к горячим частям тигля при его обслуживании. Помимо этого, на правом блоке установлен штатив для крепления термометра, измеряющего температуру жидкой пробы.

Перед началом испытания аппарат устанавливают на горизонтальном столе в таком месте, где нет заметного движения воздуха и вспышка хорошо видна. Для защиты от движения воздуха аппарат с трех сторон окружают экраном или щитом. Перед проведением каждого испытания аппарат охлаждают.

При работе с маслами аппарат помещают вместе с экраном в вытяжной шкаф. При температуре на  $56^{\circ}\text{C}$  ниже предполагаемой температуры вспышки движение воздуха в вытяжном шкафу следует поддерживать без создания сильных потоков над тиглем, для чего необходимо работать при закрытой верхней заслонке вентиляционного устройства вытяжного шкафа.

Перед каждым испытанием тигель промывают растворителем. Углеродистые отложения удаляют металлической щеткой. Затем тигель промывают холодной дистиллированной водой и высушивают на открытом пламени или горячей электроплитке. Тигель охлаждают до температуры не менее чем на  $56^{\circ}\text{C}$  ниже предполагаемой температуры вспышки и помещают его в аппарат.

В тигель помещают 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 от стенок тигля.

### ***Проведение испытания***

Тигель заполняют нефтепродуктом так, чтобы верхний мениск точно совпадал с меткой. При наполнении тигля выше метки избыток нефтепродукта удаляют пипеткой или другим соответствующим приспособлением. Удаляют пузырьки воздуха с поверхности пробы. Не допускается смачивание стенок тигля выше уровня жидкости.

Тигель с пробой нагревают при помощи электрообогрева сначала со скоростью  $14-17^{\circ}\text{C}$  в минуту. Когда температура пробы будет приблизительно на  $56^{\circ}\text{C}$  ниже предполагаемой температуры вспышки, (для масла МС-20 температура вспышки в открытом тигле не менее  $265^{\circ}\text{C}$ ) скорость подогрева регулируют так, чтобы последние  $28^{\circ}\text{C}$  перед температурой вспышки нефтепродукт нагревался со скоростью  $5-6^{\circ}\text{C}$  в минуту.

Зажигают пламя зажигательного устройства и регулируют его таким образом, чтобы размер диаметра пламени был примерно 4 мм. Его сравнивают с лекалом (шариком-шаблоном), вмонтированным в аппарат.

Начиная с температуры не менее чем на 28°C ниже температуры вспышки, каждый раз аправляют зажигательным устройством над верхней кромкой тигля при повышении температуры пробы на 2°C. Пламя зажигательного устройства перемещают в горизонтальном направлении, не останавливаясь над краем тигля, и проводят им над центром тигля в одном направлении в течение 1с.

При последующем повышении температуры перемещают пламя зажигания в обратном направлении.

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

В случае появления неясной вспышки она должна быть подтверждена последующей вспышкой через 2°C.

Голубой круг (ореол), который иногда образуется вокруг пламени зажигания, во внимание не принимают.

Для определения температуры воспламенения продолжают нагрев пробы со скоростью 5-6°C в минуту и повторяют испытание пламенем зажигательного приспособления через каждые 2°C подъема температуры нефтепродукта.

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

### ***Экспериментальная часть***

После ознакомления с теоретическими вопросами, определяющими сущность работы и ознакомлением с устройством прибора ТВО и методикой определения температуры вспышки и воспламенения масел по ГОСТ 4333, студентам под руководством преподавателя и лаборанта предлагается определить температуру вспышки и воспламенения образца товарного масла МС-20, широко применяющегося для смазки узлов поршневых и турбовинтовых двигателей самолетов и вертолетов. Для этого студенты получают у лаборанта образец масла и проводят его тестирование по методике, изложенной выше. Нормируемая температура вспышки масла МС-20 должна быть выше 265°C. Температура воспламенения не нормируется НТД.

По результатам испытания составляется протокол и делается заключение по его кондиционности по данному показателю.

### ***Контрольные вопросы***

1. Какое значение имеют определение температуры вспышки и воспламеняемости при работе с авиационными маслами?
2. Дайте определение температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения.

3. Какие методы оценки температуры вспышки используются для тестирования авиаГСМ?
4. Опишите методику определения температуры вспышки по ГОСТ 4333.
5. Опишите методику определения температуры воспламенения по ГОСТ 4333.

### **Лабораторная работа № 7. Физико-химические свойства пластичных смазок**

#### *Цель работы:*

- изучить физико-химические свойства пластичных смазок, их взаимосвязь с химическим составом и природой компонентов, составляющих смазку;
- воспитание навыков прогнозирования свойств смазок в зависимости от их состава;
- уметь определять пенетрацию пластичных смазок по ГОСТ 5346.

#### *Введение*

**Пластичные смазки** представляют собой смазочные материалы, специальным образом загущенные для того, чтобы обеспечить смазку, консервацию и уплотнение тех узлов трения и деталей, для которых создать принудительную циркуляцию обычной жидкой смазки нецелесообразно или невозможно из-за особых условий работы и конструкции узла трения.

Пластичные смазки по консистенции занимают промежуточное положение между жидкими маслами и твердыми смазочными материалами. Они представляют собой коллоидные системы (твердые или полутвердые гели), характеризующиеся высокой концентрацией дисперсной фазы. Высокая степень структурирования дисперсной фазы придает смазкам пластичность, упругость и ряд других свойств, благодаря которым они существенно отличаются от жидких смазывающихся 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 прочности структурного каркаса, и при нагреве, смазка начинает разрушаться – течь как пластичное тело, но при этом из зоны трения она не вытекает и через уплотнения не просачивается. При снятии нагрузки течение прекращается, и смазка вновь приобретает свойства твердого тела. В этом и заключается преимущество применения смазок по сравнению с жидкими смазывающимися материалами.

Основные функции пластичных смазок не отличаются от функций жидких масел и состоят в следующем: - уменьшение силы трения между перемещающимися друг относительно друга поверхностями; снижение износа

и предотвращение задира (заедания) трущихся поверхностей; -  
уплотнение зазоров между сопряженными деталями.

Специфика смазок заключается лишь в *области их применения*:

- пригодность для смазывания сильно изношенных пар трения;
- возможность использования в негерметизированных или открытых узлах;
- способность прочно держаться на смазываемых поверхностях;
- длительные сроки эксплуатации и хранения и пр.

По сравнению с маслами пластичные смазки имеют ряд преимуществ:

- малый удельный расход (иногда в сотни раз меньший);
- более простая конструкция машин и механизмов (что снижает массу, повышает надежность и ресурс работы);
- более продолжительный период «межсмазочных» стадий;
- значительно меньшие эксплуатационные затраты при обслуживании техники.

Применение пластичных смазок более эффективно в условиях высоких температур и контактных нагрузок, в узлах трения, работающих периодически или с частыми остановками.

К недостаткам смазок следует отнести:

- отсутствие отвода теплоты и продуктов износа от смазываемых деталей;
- более сложную систему подачи пластичного смазочного материала узлу трения;
- низкую химическую стабильность мыльных смазок, что приводит к их повышенной окисляемости и ухудшению эксплуатационных свойств.

Пластичные смазки, представляющие собой мазеобразные продукты, 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 30 % ее массы) и *жидкого масла*, включенного в ячейки этого твердого каркаса (дисперсная среда – 70...90 %).

В качестве основы 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 превышает 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.

Кроме того, смазки обычно содержат некоторое количество воды, играющей роль стабилизатора.

Особенностью пластичных смазок является обратимость процесса разрушения структурного каркаса: под действием больших нагрузок каркас разрушается, и смазка работает как жидкость; при снятии нагрузки каркас восстанавливается, и смазка вновь приобретает свойства твердого тела.

Способность дисперсных систем обратимо разжижаться при механическом воздействии и отвердевать при относительно длительном их пребывании в покое носит название **тиксотропия**. Тиксотропные свойства пластичных смазок имеют большое эксплуатационное значение. Положительным качеством, обусловливаемым тиксотропией, является то, что при выбрасывании частиц разжиженной смазки из зоны трения и отложения их на неподвижных поверхностях они увеличивают вязкость и автоматически герметизируют узел трения от дальнейшего вытекания пластичной смазки.

### **Эксплуатационные свойства и показатели качества пластичных смазок**

Эксплуатационные свойства смазок связаны с отдельными показателями их физико-химических свойств. Основными свойствами пластичных смазок, по которым можно производить сравнительную оценку их качества и предугадывать работоспособность, являются: предел прочности, эффективная вязкость, пенетрация, температура каплепадения, коллоидная и химическая стабильность, коррозионные свойства (водостойкость, кислотостойкость, содержание кислот, щелочей, воды), содержание механических примесей.

Из всех показателей качества смазок основные - это температура каплепадения и уровень пенетрации. Потому именно они являются выходными параметрами для оценки и сравнения смазок друг с другом.

**Пенетрация - число проницаемости** (в 0,1 мм), которое характеризует консистенцию (степень мягкости) пластичных смазок и является показателем глубины погружения (проникновения) в испытываемую смазку конуса

стандартных размеров. В приборе, называемом *пенетрометром*, пенетрация определяется числом делений, отмечаемых стрелкой на шкале индикатора прибора, и соответствует числу десятых долей миллиметра глубины погружения конуса в смазку.

Чем больше число пенетрации, тем мягче смазка, и, следовательно, меньше ее консистентность. Для пластичных смазок ее значение находится в пределах 170...400 единиц.

Метод пенетрации в течении многих десятилетий широко используется для оценки структурно-механических свойств, определяющих реологические свойства пластичных смазок т.е скорость сдвига в условиях испытания.

Пенетрометр устроен следующим образом (рис 1.)

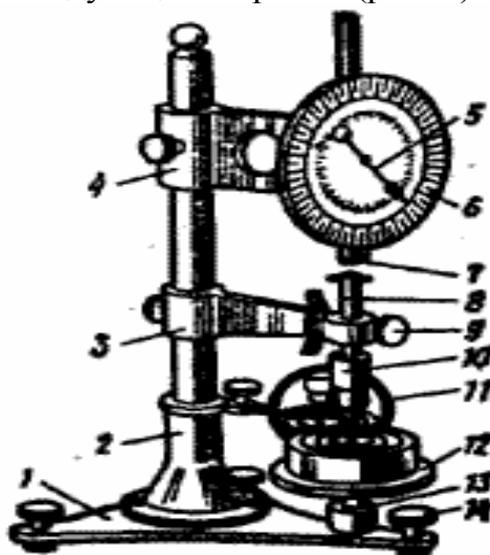


Рис.1. Конструкция пенетрометра: 1-штатив; 2-регулятор уровня подставки; 3-регулятор установки измерительного устройства; 4-крепление диска индикатора; 5-стрелка индикатора; 6-диск с делениями; 7-кармельера; 8-упор; 9-пусковая кнопка; 10-муфта крепления иглы; 11-зеркало; 12-емкость с исследуемой смазкой; 13- столик; 14-регулятор уровня горизонта

Пенетрометр по своему принципу действия схож с приборами для определения твердости металлов по вдавливанию в них шарика или призмы. В пенетрометрах вместо шарика используют металлический конус, вершина которого с определенной силой вдавливается в испытуемый образец смазочного материала. Для пенетрометра характерно непостоянство скорости деформации во времени и в объеме образца, в связи с чем полученные результаты определения реологических характеристик требуют дополнительного подтверждения другими методами испытаний (определения температуры каплепадения и термической стабильности смазки). По глубине вдавливания конуса пенетрометра вычисляют предельное напряжение сдвига по формуле:

$$\tau_c = K_p F / h^2$$

где:  $K_p$  – константа пенетрометра;  
 $F$  – сила вдавливания конуса, г  
 $h$  – глубина погружения конуса, мм.

Непостоянство скорости деформации во времени и в объеме, получаемом в приборе данного типа не позволяет получить оценку эксплуатационных свойств смазки. В ряде случаев смазки, резко различающиеся по своим свойствам имеют одинаковые числа пенетрации.

Число пенетрации – сугубо эмпирическая величина, представляющая собой суммарный результат взаимодействия различных физических свойств компонентов смазки. Поэтому этот показатель рассматривают как суммарную характеристику, позволяющую контролировать единообразие свойств смазок одной марки. По его изменению можно определить соответствие качества смазки требованиям нормативно технической документации (НТД) на данный продукт.

### ***Экспериментальная часть***

Для определения пенетрации используют пенетрометр с металлическим конусом, изображенный на рис. 1. В состав установки для определения пенетрации входит устройство для перемешивания смазок., водная или масляная ванна цилиндрической формы (кастрюля) для термостатирования анализируемого образца смазки в соответствии с требованиями НТД на данный вид продукта. Для проведения испытаний необходим секундомер и термометр с пределами измерения от 0 до 100°C и ценой деления 1°C. Общая масса конуса пенетрометра должна составлять 150±0,25 г. Конус пенетрометра закрепляется винтом в нижнем основании плунжера. При установке конуса необходимо соблюдать осторожность, чтобы не повредить острие конуса.

Устройство для перемешивания смазки представляет собой металлический стакан с навинчивающейся крышкой. Через отверстие в крышке устройства в цилиндр вставлен шток на одном конце которого укреплен перфорированный диск, а на другом конце рычаг с рукояткой для перемешивания образца смазки. Смазка перемешивается путем возвратно-поступательных движений рычага. Эта операция необходима для придания однородности всему объему испытываемого образца смазки.

### ***Порядок проведения испытания***

1. В стакан перемешивающего устройства шпателем загружают исследуемую смазку так, чтобы она полностью заполнила стакан и несколько выступала над верхним обрезом.
2. Завинчивают крышку перемешивающего устройства и помещают его в ванну для термостатирования, определенной в НТД на данную марку смазки на 15 минут.
3. После термостатирования извлекают стакан из ванны и перемешивают содержимое в устройстве перемешивания, совершая возвратно-поступательные движения рычагом со скоростью 1 раз в секунду в течение одной минуты.

4. После окончания перемешивания отворачивают крышку перемешивающего устройства и вновь помещают последнее в ванну на 15 минут, поддерживая температуру воды в бане 25°C
5. стакан помещают на столик пенетрометра, предварительно вытерев его внешнюю поверхность от воды, и тщательно выравнивают поверхность смазки ножом.
6. Конус пенетрометра устанавливают непосредственно над поверхностью смазки, но так, чтобы он не касался ее поверхности в центральной части стакана с смазкой. Установку конуса контролируют, используя шарнирно закрепленное зеркало прибора.
7. Опускают кармельеру 7 до соприкосновения с плунжером, в котором зафиксирован конус.
8. Ставят стрелку индикатора 5 на нулевое деление диска 6.
9. Берут в левую руку секундомер и, поместив указательный и безымянный пальцы на упор 8, нажимают большим пальцем на пусковую кнопку 9 с одновременным включением секундомера. Конус прибора свободно погружается в смазку в течении 5 секунд, после чего пусковую кнопку отпускают, фиксируя глубину погружения конуса в объем смазки
10. Опускают кармельеру 7 до соприкосновения с плунжером. При этом вместе с кармельерой передвигается стрелка 5
11. Записывают показания с шкалы индикатора 6, после чего тщательно протирают конус пенетрометра растворителем для удаления остатков смазки с иглы и вновь готовят прибор к измерениям. Определение пенетрации проводят 5 раз

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

Пенетрацию смазки выражают в миллиметрах с точностью до одной десятой мм глубины погружения конуса.

Полученные результаты заносят в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерений

|   | Показания шкалы индикатора, мм. | Среднее арифметическое | % отклонения | ГОСТ |
|---|---------------------------------|------------------------|--------------|------|
| 1 |                                 |                        |              |      |
| 2 |                                 |                        |              |      |
| 3 |                                 |                        |              |      |
| 4 |                                 |                        |              |      |
| 5 |                                 |                        |              |      |

### **Контрольные вопросы**

1. По каким показателям можно оценивать структурно-механические свойства смазок?

2. Опишите основные особенности применения смазок в узлах трения.
3. Перечислите основные характеристики, определяющие поведение смазок в узлах трения.
4. Что понимается под пенетрацией смазок, и в каких единицах она выражается?
5. Может ли показатель пенетрации пластичных смазок быть критерием оценки прочностных свойств смазки? Ответ мотивируйте.
6. Почему по величине пенетрации нельзя судить о ее прочностных свойствах?
7. Влияет ли природа дисперсной фазы пластичных смазок и ее содержание на величину пенетрации? Ответ мотивируйте.
8. Какое практическое применение показателя пенетрации?
9. Влияет ли температура испытания на величину пенетрации?

### **Лабораторная работа № 8. Определение содержания механических примесей в авиатопливе**

*Целью настоящей лабораторной работы является:*

определение содержания механических примесей в пробе авиатоплива ТС-1, взятой из приёмного резервуара склада ГСМ.

*Задачи работы:*

- изучить закономерность изменения чистоты авиатоплива ТС-1 в процессе авиатопливообеспечения ВС;
- получить навык работы на приборе вакуумного фильтрования ПВФ-35Б/1;
- провести определение массовой доли механических примесей по ГОСТ 10577-78 в пробе авиатоплива ТС-1.

#### ***Введение***

***Механические примеси*** - присутствующие в авиатопливе мелкодисперсные твёрдые частицы коррозионного, износного, минерального, растительного и другого происхождения.

Изменение содержания в топливе механических примесей начинается с момента его изготовления. Источниками загрязнений являются технологическое оборудование, промывочная вода и воздух, с которыми контактирует готовое топливо.

Технологическое оборудование загрязняет топливо продуктами коррозии, продуктами разрушения уплотнительных материалов, фильтров и материала пар трения насосов.

Наряду с коррозией оборудования источником загрязнения топлива является воздух, в котором всегда содержатся во взвешенном состоянии частички почвы, пыли. Состав пыли зависит от состава почвы, но особенно вредной с точки зрения эксплуатационных свойств, является пыль песчаной и супесчаной почв. Она увеличивает в топливе содержание твёрдых окислов кремния, изнашивающих оборудование и агрегаты топливной системы. Пыль

из воздуха попадает в резервуары, цистерны, баки, ёмкости при открытых горловинах и люках, а главное при большом и малом дыханиях.

Таким образом, вследствие химических и коррозионных процессов, протекающих между топливом и металлом, а также контакта топлива с запыленной атмосферой при хранении, в нём постепенно накапливаются твёрдые механические загрязнения. При приёме топлива от поставщика допустимое содержание механических примесей – 0,0003%масс.

При подготовке топлива к заправке в ВС необходимо очистить топливо до содержания механических примесей – 0,0002%масс. (2 г/т), поэтому должна соблюдаться система очистки: отстаивание топлива и трёхкратная фильтрация.

Содержание механических примесей контролируется на всех этапах авиатопливообеспечения ВС.

### *Экспериментальная часть*

Определение содержания механических примесей в авиатопливе проводят по ГОСТ 10577-78.

Сущность метода заключается в определении массы механических примесей, задерживаемых мембранными нитроцеллюлозными или ацетатными фильтрами при фильтровании через них испытуемого нефтепродукта. Метод не применяют для анализа нефтепродуктов, содержащих более 0,1% нерастворенной воды.

Для фильтрования используется прибор вакуумного фильтрования ПВФ-35/1.

Прибор состоит из следующих основных частей (рис. 1): ячейки фильтровальной 1, вакуумной станции 2, соединительного шланга 3.

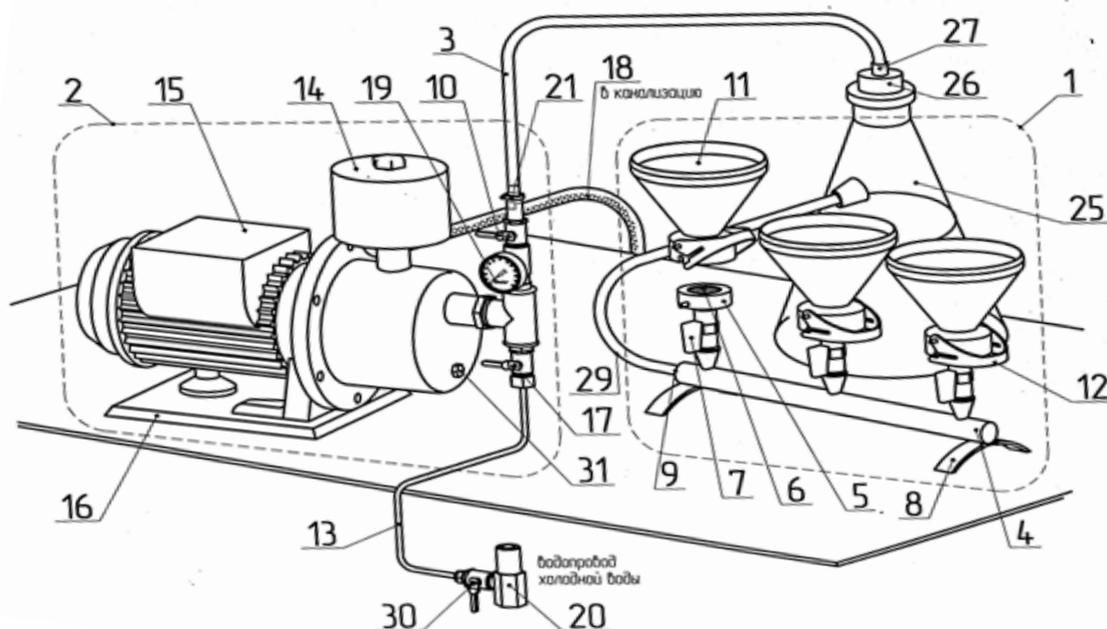


Рис. 1. Прибор вакуумного фильтрования ПВФ-35/1

Ячейка фильтрации 1 включает в себя: коллектор 4 с основанием 5, на верхнем торце которого имеются фритты 6, на которых размещаются фильтрующие мембраны. Краны 7 предназначены для запираания отсасывающих каналов воронки. Коллектор имеет опоры 8, штуцер 9 для присоединения вакуумного шланга 3 (или шланга 29).

Воронки 11 снабжены пружинными зажимами 12, посредством которых они крепятся на основании 5.

Вакуумная станция 2 включает в себя: ёмкость 14, насос 15, основание 16, краны 10, 17, 30, шланг 3 к коллектору 4, трубку белую 13, кран 30 для присоединения к переходнику 20, который крепится на водопроводной линии, а также соединительные патрубки и фитинги.

Прибор укомплектован ресивером для сбора отфильтрованных жидкостей.

Ресивер включает в себя: колбу 25 с одной горловиной и боковым штуцером, пробку 26, штуцер 27 и соединительные шланги 3 и 29.

Пробу топлива (~ 400 см<sup>3</sup> для одного определения) отбирают в чистые бутылки, которые предварительно ополаскивают профильтрованным растворителем.

Растворитель фильтруют в промывалку через мембранный фильтр.

Внутреннюю поверхность фильтровальной воронки, сетку под мембранный фильтр тщательно протирают льняной тряпочкой, смоченной профильтрованным растворителем, затем промывают растворителем.

Фильтры мембранные нитроцеллюлозные или ацетатцеллюлозные «Владипор» марки МФА-МА №9 с порами 0,85-0,95 мкм высушивают 30 мин в сушильном шкафу при температуре (105±5)°С. Охлаждают 30 мин в эксикаторе и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г. Операцию высушивания фильтров повторяют до получения расхождения между последовательными взвешиваниями не более 0,0002 г.

Бутылку с пробой топлива взвешивают на весах с погрешностью не более 0,5 г, перемешивают и фильтруют через мембранный фильтр на приборе ПВФ-35/1 под вакуумом 0,15- 0,20 кг/см<sup>2</sup>.

Фильтрация с помощью прибора производится в следующем порядке:

- приподняв зажим 12, снять воронку 11 с основания 5;
- положить на основание мембрану и установить воронку, зафиксировав её зажимом;
- закрыть краны ячейки фильтровальной и вакуумной станции 7 и 10;
- отвернуть пробку на ёмкости 14 и заполнить водопроводной водой ёмкость, насос 15 и магистрали вакуумной станции 2 (до появления воды в шланге 18). Завернуть пробку на ёмкости 14;
- залить в воронку пробу исследуемого топлива;
- открыть кран 7 под воронкой с пробой топлива;
- вставить вилку в розетку и включить насос;

- через 5-10 сек открыть кран 10;
- произвести фильтрацию пробы топлива (вакуум 0,15 – 0,20 кг/см<sup>2</sup>);
- после окончания фильтрования профильтрованным растворителем тщательно ополаскивают бутылку, в которой была проба топлива и промывной продукт снова фильтруют через тот же мембранный фильтр, частицы механических примесей, приставшие к стенкам воронки, снимают стеклянной палочкой с наконечником из хлорвиниловой трубки, с которого затем смывают их на фильтр растворителем с помощью промывалки с резиновой грушей;
- по окончании процесса фильтрации закрыть сначала кран 7 под воронкой, потом кран 10 и после чего выключить насос;
- приподняв зажим 12, снять воронку 11 с основания 5 и извлечь мембранный фильтр с осадком, поместить его в стаканчик и сушить в сушильном шкафу в течение 30 мин при температуре (105 ±5)°С. Охлаждают 30 мин в эксикаторе и взвешивают на весах с погрешностью 0,0002г.

Бутылку, в которой содержалась проба топлива, взвешивают с погрешность не более 0,5г и по разности масс бутылки до и после фильтрования определяют массу профильтрованного продукта.

#### ***Обработка результатов***

Массовую долю механических примесей нефтепродуктов ( $X_{мп}$ ), кроме дизельных топлив, в процентах вычисляют по формуле

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

Где  $m_1$  - масса стаканчика с мембранным фильтром после анализа, мг;

$m_2$  - масса стаканчика с мембранным фильтром до анализа, мг;

$m_3$  - масса испытуемого топлива, мг.

Массовую долю механических примесей вычисляют с точностью до 0,0001%.

За результат анализа нефтепродуктов принимают среднее арифметическое значение двух последовательных определений.

#### ***Точность метода***

##### ***1. Сходимость***

Расхождение между результатами двух последовательных определений, полученных одним исполнителем на одной и той же аппаратуре и пробе нефтепродукта (кроме дизельных топлив) в одинаковых условиях, признаётся достоверным (при доверительной вероятности 95%), если оно не превышает 0,0002%.

##### ***2. Воспроизводимость***

Расхождение между результатами определений, полученными в разных лабораториях на одной и той же пробе нефтепродукта (кроме дизельных топлив) в одинаковых условиях признаётся достоверным (при доверительной вероятности 95%), если оно не превышает 0,001%.

***Контрольные вопросы***

1. Какие механические примеси содержатся в топливах, источники их появления?
2. Опишите технологический процесс очистки топлива от механических примесей.
3. Опишите суть метода определения количества механических примесей в топливах на приборе ПВФ.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Лабораторная работа № 1. Низкотемпературные свойства авиационных ГСМ.....  | 3  |
| Лабораторная работа № 2. Смазочные свойства масел.....   | 8  |
| Лабораторная работа № 3. Определение класса чистоты гидрожидкости АМГ-10 с использованием анализатора ГРАН 152-1.....  | 15 |
| Лабораторная работа № 4. Оценка состава механических примесей в моторных маслах с целью определения остаточного ресурса их работы с использованием анализатора «Призма»..... | 19 |
| Лабораторная работа № 5. Растворимость воды в топливах и маслах.....   | 25 |
| Лабораторная работа № 6. Определение температуры вспышки и воспламенения авиационных масел в открытом тигле .....  | 30 |
| Лабораторная работа № 7. Физико-химические свойства пластичных смазок.....   | 34 |
| Лабораторная работа № 8. Определение содержания механических примесей в авиатопливе.....   | 40 |