



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

М.Л. Немчиков, А.Н. Козлов, К.И. Грядунов

ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

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

*для студентов
всех специальностей и направлений
всех форм обучения*

**Москва
2017**

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**

М.Л. Немчиков, А.Н. Козлов, К.И. Грядунов

ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

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

*для студентов
всех специальностей и направлений
всех форм обучения*

Москва - 2017

ББК 052-082-32

Н50

Рецензент д-р техн. наук, проф. Е.А. Коняев

Немчиков М.Л., Козлов А.Н., Грядунов К.И.

Н50 Горюче-смазочные материалы: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2017. – 36 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Горюче-смазочные материалы» по Учебному плану для студентов всех специальностей и направлений всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 14.02.2017 г. и методического совета 28.02.2017 г.

Подписано в печать 02.03.2017 г.

Печать офсетная
2,56 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 1725/148

1,45 уч.-изд. л.
Тираж 60 экз.

*Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
ООО «ИПП «ИНСОФТ»
107140, г. Москва, 3-й Красносельский переулок д.21, стр. 1*

© Московский государственный
технический университет ГА, 2017

Содержание

Техника безопасности.....	4
Лабораторная работа № 1. ПЛОТНОСТЬ ТОПЛИВ, МАСЕЛ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ.....	5
Лабораторная работа № 2. ИСПАРЯЕМОСТЬ РЕАКТИВНЫХ ТОПЛИВ.....	11
Лабораторная работа № 3. ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ.....	18
Лабораторная работа № 4. СТАБИЛЬНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ.....	23
Лабораторная работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ	29
Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ КИСЛОТ И ЩЕЛОЧЕЙ.....	34

Техника безопасности

Работа в лаборатории ГСМ неизбежно связана с рядом опасных и вредных факторов. Лаборатория ГСМ оборудована специальными рабочими столами, шкафами и полками для ГСМ, реактивов, посуды, растворов. Для работы с ядовитыми летучими веществами имеются вытяжные шкафы. Лаборатория снабжена водопроводом и канализацией. Мебель и оборудование располагаются так, чтобы проходы между столами и выход из лаборатории были всегда свободными для обеспечения возможности быстрой эвакуации людей в экстренных случаях. В химической лаборатории обязательно имеются средства противопожарной безопасности, а также аптечка для оказания первой помощи.

Для обеспечения безопасности необходимо соблюдать следующие **общие правила поведения в лаборатории**.

1. Лабораторные работы выполняются студентами во время, предусмотренное расписанием занятий. Запрещается работать в лаборатории в неустановленное время без разрешения преподавателя.
2. В лаборатории нельзя работать одному.
3. Запрещается посещение студентов, работающих в лаборатории, посторонними лицами, а также отвлечение студентов посторонними работами и разговорами.
4. В лаборатории необходимо соблюдать порядок и тишину.
5. Запрещается находиться в лаборатории в верхней одежде.
6. Запрещается курить, принимать пищу, пить воду в лаборатории.
7. Запрещается проводить какие-либо опыты, не предусмотренные программой лабораторных работ, приносить свои реактивы, выносить реактивы из лаборатории.
8. К выполнению лабораторной работы можно приступать после изучения методики и правил работы с приборами.
9. На рабочем столе должны находиться необходимые реактивы, оборудование и посуда, рабочий журнал. Поверхность стола должна быть чистой и сухой. Не следует загромождать стол посторонними предметами.
10. При выполнении лабораторной работы все операции необходимо выполнять над рабочим столом.
11. После окончания работы следует вымыть посуду, отключить электроприборы, выключить воду, привести в порядок рабочее место и сдать его лаборанту (преподавателю).
12. Запрещается сливать ГСМ в канализацию.

Лабораторная работа № 1.

ПЛОТНОСТЬ ТОПЛИВ, МАСЕЛ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы:

- знать определение понятий абсолютная плотность, относительная плотность, взаимосвязь этих понятий, их зависимость от природы жидкостей и температуры;
- понимать эксплуатационное значение этих показателей;
- уметь определять плотность различными методами в соответствии с ГОСТ 3900-85.

1. Теоретическое введение

1.1 Основные понятия и определения

Под абсолютной плотностью жидкости понимают отношение массы вещества к занимаемому объему, т. е. плотность есть масса единицы объема. Размерность абсолютной плотности жидкости:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

В международной системе СИ плотность выражается в кг/м^3 . Внесистемной единицей измерения плотности является г/см^3 , ее отношение к основной единице измерения составляет соответственно 10^{-3} .

Плотность углеводородов, из которых состоит большинство ГСМ (топлив, масел, гидрожидкостей), зависит от их молекулярной массы и температуры кипения, чем они выше, тем больше плотность ГСМ. Так, плотность товарных партий одного и того же сорта топлива может отклоняться от средней величины на $\pm 15 \text{ кг/м}^3$.

Численные значения плотности различных марок реактивных топлив при стандартных условиях ($20 \text{ }^\circ\text{C}$ и 760 мм.рт.ст.) и диапазон их допустимых изменений, а также рекомендуемые значения плотности при настройке топливорегулирующей аппаратуры, оценке удельного расхода топлива двигателя, определении дальности полета ВС и ряда других показателей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Плотность авиационных керосинов

Топливо	Плотность, кг/м^3		
	ГОСТ	Диапазон	Рекомендуемое
ТС-1	> 775	775...785	779
РТ	> 775	775...785	779
Т-8В	> 800	802...806	804
Т-6	> 840	840...842	841
Jet-A	> 775	775...840	805

Все тела изменяют свою плотность, и, соответственно, объем при изменении температуры. Для авиационных керосинов справедлив следующий закон: при увеличении температуры их плотность уменьшается, а занимаемый ими объем возрастает, и наоборот.

Для приведения измеренной плотности к стандартным условиям (20 °С) применяют следующую формулу:

$$\rho_{20} = \rho_t + \gamma(t - 20) \quad (2)$$

где: ρ_{20} – плотность топлива при 20 °С;

ρ_t – плотность топлива при температуре испытания;

γ – коэффициент объемного расширения на 1 °С (табличная величина)

t – температура испытания, °С.

Таблица 2

Значение средних коэффициентов объемного расширения при определении плотности нефтепродуктов

Интервал плотности (кг/м ³)	Коэффициент объемного расширения γ	Интервал плотности (кг/м ³)	Коэффициент объемного расширения γ
700...710	0,000897	780...790	0,000792
710...720	0,000884	790...800	0,000778
720...730	0,000870	800...810	0,000765
730...740	0,000857	810...820	0,000752
740...750	0,000844	820...830	0,000738
750...760	0,000831	830...840	0,000725
760...770	0,000818	840...850	0,000712
770...780	0,000805	850...860	0,000699

В последнее время, в связи с гармонизацией отечественной нормативной документации с зарубежными нормативными документами введено определение плотности при 15 °С. При этом в сопроводительных документах на товарные партии ГСМ появляются значения плотности при обеих названных температурах.

1.2 Эксплуатационное значение измерения плотности топлив

Доля затрат на топливо в общем балансе расходов по эксплуатации ВС доходит до 40 %. Весь учет поступающего в ТЗК и отпускаемого ВС топлива учитывается **только в единицах массы**, т. к. объем меняется в зависимости от температуры окружающей среды, а масса является постоянной величиной.

В настоящее время разработаны и внедряются методы онлайн определения массы топлива при сливе ж/д цистерн и топливозаправщиков, однако эти методы требуют значительных материальных затрат при их эксплуатации и периодической дорогостоящей калибровки и поверки, тогда как

определение плотности и объема топлив при их движении по всей технологической цепочке в ТЗК обеспечить намного проще.

Топливо является единственным источником энергии на борту ВС, и от его массы зависят такие важные величины как дальность полета и взлетная масса ВС, а масса заправляемого в баки топлива напрямую зависит от его плотности. Следовательно, чем плотнее топливо, тем больше запасов энергии на борту. Данное обстоятельство и другие важные показатели (например, испаряемость) топлив влияют на выбор марки топлива при эксплуатации ВС (смотри таблицу 1). Для гражданских ВС используются топлива ТС-1 и РТ отечественных марок и иностранная марка Jet-A, тогда как для военной и, особенно, сверхзвуковой авиации применяются более плотные высотные топлива – Т-8в, Т-6.

Изменение объема топлива при повышении температуры следует учитывать при заполнении наземных резервуаров ТЗК и баков ВС, оставляя некоторый объем в надтопливном пространстве, исключая перелив топлива через системы дренажа и возможные повреждения конструкций топливных резервуаров при повышении температуры окружающей среды. При условии полного заполнения баков ВС следует проследить, чтобы его вылет состоялся.

1.3. Методы определения плотности топлива

В настоящее время используются следующие способы определения плотности топлив.

А) определение абсолютной плотности топлив ареометром

Данный метод отличается простотой и доступностью и заключается в измерении плотности ареометром. Ареометр представляет собой стеклянную трубку, нижняя часть которой заполняется дробью или ртутью для достижения необходимой массы (рис. 1). В верхней части находится шкала, которая проградуирована в значениях плотности раствора или концентрации растворенного вещества. Плотность раствора равняется отношению массы ареометра к объему, на который он погружается в жидкость.

Метод основан на применении закона Архимеда: тело, погруженное в жидкость, теряет в своей массе столько, сколько весит равный ему по массе объем вытесненной жидкости. Точность измерения плотности – 3 знака после запятой.

Чистый и сухой ареометр погружают в установленный на ровной поверхности цилиндр с испытуемым топливом. Уровень топлива в цилиндре должен обеспечивать полную плавучесть ареометра при проведении испытания

и не допускать перелива топлива. Ареометр следует погружать в топливо медленно и аккуратно, поддерживая его за верхний конец так, чтобы он не прикасался к стенкам и дну цилиндра и не смачивалась часть стержня, расположенная выше уровня погружения. После того как ареометр примет температуру образца топлива фиксируют температуру топлива по термометру и отсчитывают показания плотности по верхнему краю мениска, при этом глаз находится на уровне мениска (Рис. 2).

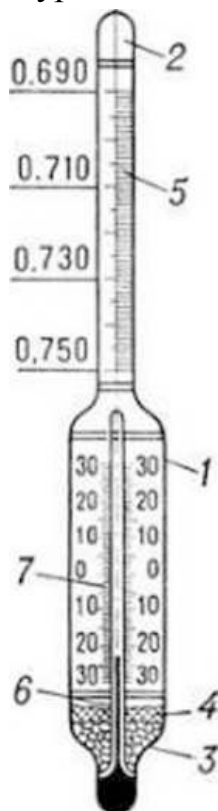


Рис 1. Устройство ареометра: 1- ареометр; 2 – верхняя часть; 3 – нижняя часть; 4 – стальная дробь; 5 – шкала плотностей; 6 – показания температуры; 7 – шкала температуры

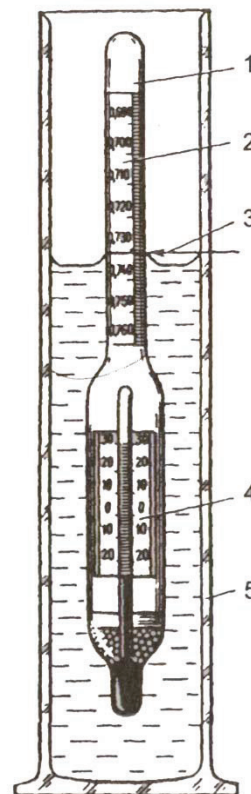


Рис. 2. Проведение измерения плотности ареометром: 1 – ареометр, 2 – шкала плотностей, 3 – линия снятия показаний плотности; 4 – шкала температуры; 5 – сосуд с нефтепродуктом

Б) Измерение относительной плотности топлив пикнометром

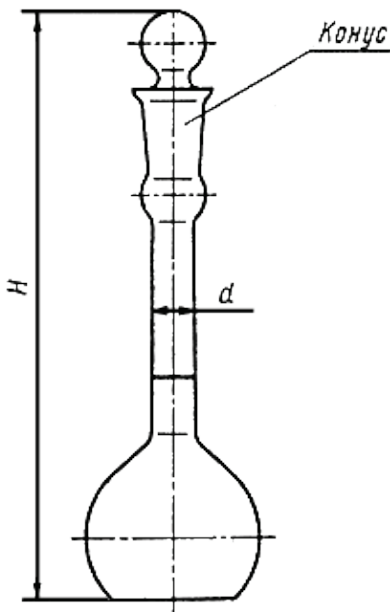


Рис. 3. Пикнометр для измерения плотности топлив

В случае, если требуется определить плотность топлив с большей точностью (до 4 знака после запятой при проведении арбитражных анализов, когда измеренная с использованием ареометра плотность отличается от величин, приведенных в сопроводительных документах (инвойс, накладная или паспортные данные на принимаемую партию топлива), используется пикнометрический метод определения.

Метод заключается в сравнении массы испытуемого топлива с массой воды при температуре 4 °С (1000 кг/м³) в одном и том же измеряемом объеме при их взвешивании на аналитических весах с точностью 0,0001 г. Взвешивание производится в пикнометре, представляющим собой стеклянную мерную колбу объемом 50 мл (Рис. 3).

Расчет относительной плотности при условии, что температуры топлива и воды равны, производится по формуле:

$$d = \frac{m_T - m_0}{m_B - m_0} \quad (1.2)$$

где: m_T – масса пикнометра с топливом;
 m_B – масса пикнометра с водой;
 m_0 – масса пустого пикнометра.

При этом полученная величина будет безразмерной и не зависит от температуры испытания.

Плотность образца топлива в кг/м³ вычисляют по формуле:

$$\rho = d * \rho_c + C \quad (1.3)$$

где: d – величина относительной плотности, рассчитанная по формуле 1.2;
 ρ_c – плотность воды при расчетах (табл. 3), кг/м³;
 C – поправка на давление воздуха (табл. 4), кг/м³.

Таблица 3

Температура, °С	Плотность воды ρ_c , кг/м ³	Температура, °С	Плотность воды ρ_c , кг/м ³
15	999,0364	23	997,4408
16	998,8751	24	997,1950
17	998,7023	25	996,9396
18	998,5185	26	996,6747
19	998,3238	27	996,4005
20	998,1185	28	996,1172
21	997,9027	29	996,8250
22	997,6767	30	995,5239

Таблица 4

d	C, кг/м ³	d	C, кг/м ³	d	C, кг/м ³
0,61	0,47	0,74	0,31	0,87	0,16
0,62	0,46	0,75	0,30	0,88	0,14
0,63	0,44	0,76	0,29	0,89	0,13
0,64	0,43	0,77	0,28	0,90	0,12
0,65	0,42	0,78	0,26	0,91	0,11
0,66	0,41	0,79	0,25	0,92	0,10
0,67	0,40	0,80	0,24	0,93	0,08
0,68	0,38	0,81	0,23	0,94	0,07
0,69	0,37	0,82	0,22	0,95	0,06
0,70	0,36	0,83	0,20	0,96	0,05
0,71	0,35	0,84	0,19	0,97	0,04
0,72	0,34	0,85	0,18	0,98	0,02
0,73	0,32	0,86	0,17	0,99	0,01

В) автоматические плотномеры

Наиболее эффективный способ определения плотности - с помощью электронных плотномеров, работа которых основана на измерении периода собственных колебаний полой U-образной трубки, заполненной исследуемой жидкостью. Компактность измерительной ячейки позволяет таким приборам



Рис. 4. Плотномер жидкости ВИП-2

иметь встроенный термостат на термоэлектрических элементах. Измерение плотности при помощи вибрационных плотномеров позволяет получать точные результаты при минимальной трудоемкости и незначительных временных затратах. Внешний вид плотномера ВИП-2 изображен на рис. 4.

2. Экспериментальная часть

2.1. Определение абсолютной плотности ареометром

Налить 250 мл топлива в сосуд и провести измерения абсолютной плотности в соответствии с пунктом 1.3 А). После измерения ареометр насухо вытереть фильтровальной бумагой и положить в футляр.

Провести расчет значения абсолютной плотности, приведенной к стандартной температуре 20 °С, используя формулу 1.1 и поправочный коэффициент табл. 2.

2.2. Определение относительной плотности с применением пикнометра

Провести расчет относительной плотности топлива в соответствии с пунктом 1.3 Б). Вначале определяют массу сухого пикнометра с пробкой m_0 , затем пикнометр заполняют до метки на горлышке топливом, определяя m_T , далее сливают топливо и заполняют пикнометр водой чуть выше метки, а затем удаляют избыток воды с оставшихся на стенках пикнометра топлива жгутиком из фильтровальной бумаги до метки и определяют массу воды m_B .

2.3. Оформление отчета и выводы

После проведения испытаний оформляют отчет и делают выводы из полученных результатов.

3. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте понятия абсолютной и относительной плотности.
2. Рассмотрите влияние температуры на плотность и объем топлива.
3. Как определить объем, который жидкость займет при изменении температуры на 5 °С; 25 °С?
4. В чем заключается практическое значение измерения плотности?
5. В чем заключается суть измерения абсолютной плотности ареометром?
6. В чем заключается суть определения плотности пикнометром, и в чем его отличие от определения плотности ареометром?

Лабораторная работа № 2.

ИСПАРЯЕМОСТЬ РЕАКТИВНЫХ ТОПЛИВ

Цель работы:

- изучить одно из основных свойств топлив – испаряемость;
- построить кривую фракционной разгонки топлива, отметить на ней характерные точки, соответствующие началу перегонки, выкипанию 10 %; 50 % 90 % и 98 % исходного объема;

– освоить эксплуатационное значение показателей испаряемости авиационных топлив для авиадвигателей и топливных систем ВС.

1. Теоретическое введение

Топливо – это сложная смесь, состоящая из тысяч индивидуальных углеводородов, каждый из которых имеет определенные стандартные физические и химические свойства. В частности, температуру кипения. При определении фракционного состава, определяющего испаряемость топлив, эта смесь кипит в интервале температур, который зависит от температур кипения каждого компонента. При нагревании испаряются сначала самые низкокипящие компоненты, а по мере их испарения температура жидкой фазы увеличивается, и начинают кипеть более тяжелые высококипящие компоненты. Постепенно температура жидкой фазы растет, достигая максимума (конца кипения), когда испаряются самые высококипящие компоненты топлива. Это соответствует концу его кипения.

Топливо перед сгоранием должно испариться и образовать в камере сгорания двигателя горючую топливовоздушную смесь. Испарение топлива в системе питания двигателя – это процесс, состоящий из динамического испарения и кипения.

На испаряемость топлива в двигателе влияют такие факторы как температура среды, скрытая теплота парообразования, теплоемкость, величина поверхностного натяжения, скорость потока воздуха, вязкость, тонкость и полнота распыла топлива в форсунке при образовании топливовоздушной смеси.

Более полное и быстрое испарение топлива гарантирует легкий запуск двигателя при одном и том же расходе топлива.

Медленная испаряемость приводит к тому, что при запуске малолетучие высококипящие компоненты могут частично попадать в капельножидком состоянии на стенки камеры сгорания, затрудняя воспламенение и образуя углеродистые отложения, ухудшающие режим работы камеры сгорания (местные перегревы). В результате происходит накопление топлива, которое затем, внезапно воспламеняясь в пусковой период, может привести к тепловому перенапряжению деталей двигателя.

В то же время, слишком низкая температура испарения основной массы топлива может увеличить потери топлива при хранении, транспортировке и работе двигателя на таком топливе. Кроме того, повышается склонность топлива к кавитации, т. е. возможность образования паровых пробок в

топливной системе ВС, особенно при высотных полетах, что связано с понижением температуры кипения жидкости при снижении давления.

В лабораторных условиях испаряемость топлива оценивается по его фракционному составу и величине упругости паров.

Результат разгонки обычно представляется в виде графика (рис. 1). Кривая фракционной разгонки позволяет судить о фракционном составе топлива, содержащего компоненты с различным давлением насыщенных паров и температурными пределами выкипания.

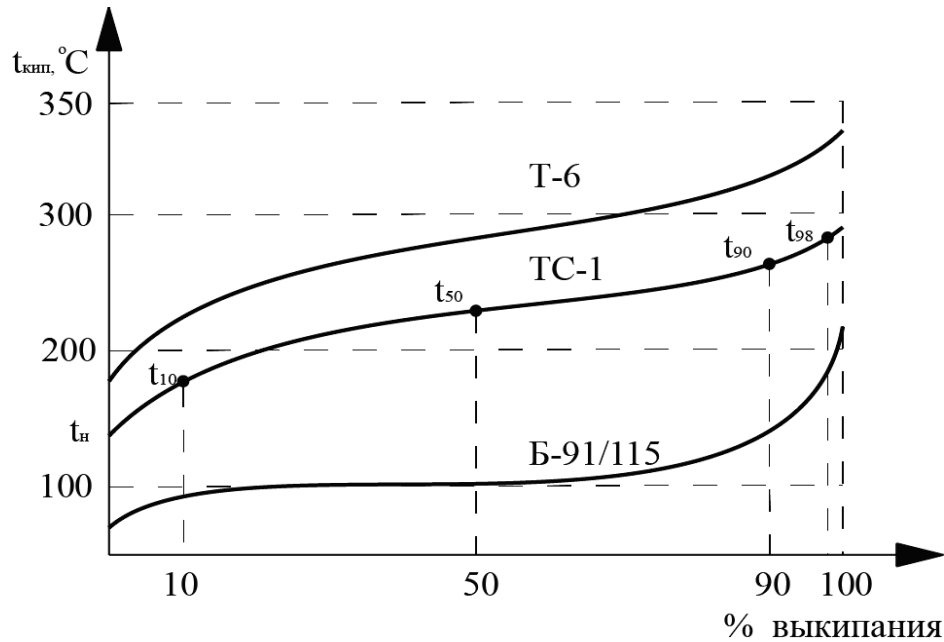


Рис. 1. Кривые фракционной разгонки авиатоплив

Основные параметры требований нормативной документации по испаряемости реактивных топлив приведены в таблице 1.

Таблица 1

Нормы по испаряемости реактивных топлив

Марка топлива	Температура начала кипения, °C	Температура выкипания 10 %, °C	Температура выкипания, 50 %, °C	Температура выкипания, 90 %, °C	Температура выкипания, 98 %, °C
ТС-1	150	175	225	270	280
РТ	155	175	225	270	280
Jet-A	-	205	-	300	-

На основании кривой фракционной разгонки оценивают испаряемость топлива, а также проводят сравнительную оценку различных сортов и партий топлив.

Следует отметить, что оценка испаряемости топлива не отражает действительного поведения топлива в двигателе, т. к. в двигателе происходит динамический процесс испарения и кипения, а не кипения и конденсации, как

это имеет место при разгонке топлива в колбе. Однако ряд исследований и практика эксплуатации показали, что между некоторыми точками кривой разгонки и отдельными параметрами в работе двигателя имеются определенные зависимости.

Такими характерными точками на кривой фракционной разгонки являются:

- температура начала кипения t_n ;
- температура отгона 10% топлива $t_{10\%}$;
- температура отгона 50% топлива $t_{50\%}$;
- температура отгона 90% топлива $t_{90\%}$;
- температура отгона 98% топлива $t_{98\%}$.

Температура начала кипения t_n ; характеризует высотность топлива. Слишком низкая температура начала кипения приводит к тому, что в топливной системе будет образовываться большое количество пузырьков пара. Их особенно сильное выделение и образование паровых пробок будет происходить или при повышении температуры окружающего воздуха, или при понижении давления.

Следовательно, высотными характеристиками реактивных топлив условно принято называть те свойства топлив, которые оказывают влияние на работу топливной системы самолета на большой высоте. Наиболее важными из них являются давление насыщенных паров, вскипание и испарение топлива на большой высоте, а также его летучесть при сильном разрежении атмосферного воздуха, чем и обуславливаются потери топлива из баков во время полета.

Давление насыщенных паров топлива в значительной мере определяет при какой высоте полета данный сорт топлива будет кавитировать, и как велика будет летучесть топлива, определяющая его потери из баков самолетов при выполнении высотных полетов.

С возникновением кавитации во время высотных полетов связаны два опасных явления: нарушение работы топливной системы самолета; потеря топлива из баков из-за испарения.

Кавитация топлива сопровождается выделением паров топлива и воздуха и может происходить не только в топливных баках, но и в топливопроводах. Известно, что при прохождении топлива по топливопроводам местные сопротивления в топливной магистрали (стыки, резкие повороты, краны и т. д.) могут создать местные ускорения потока топлива, которые вызывают падение давления в этой локальной зоне. В результате топливо может закавитировать в топливной магистрали. Так как выделяющиеся при кавитации пары

невозможно отвести из топливопровода, они будут тормозить поступление топлива в двигатель вплоть до полного прекращения подачи.

Поэтому важно знать, при каком остаточном давлении начнется кавитация, т. е. знать границу, выше которой при полетах возможно нарушение работы топливной системы самолета.

При повышении температуры кавитация наступает на меньших высотах, т. е. при меньшем разрежении воздуха. Топливо ТС-1 при температуре $+10^{\circ}\text{C}$ кавитирует только на высоте 23 000 м, а при температуре $+30^{\circ}\text{C}$ - на высоте 19 000 м.

Авиабензин Б-70 с давлением паров 200 мм.рт.ст. при температуре $+10^{\circ}\text{C}$ закипает на высоте 14 000 м, а при температуре $+30^{\circ}\text{C}$ - на высоте 9 600 м.

Т. к. температура оказывает сильное влияние на высотные характеристики топлива, то возникновение кавитации наиболее вероятно в летний период эксплуатации (особенно в районах с жарким климатом).

Наибольшая опасность возникновения кавитации и нарушения работы топливной системы самолета приходится на набор высоты и первую стадию горизонтального полета, пока топливо не охладилось и имеет высокую температуру. При длительном высотном полете топливо в баках самолета охлаждается, благодаря чему снижается давление его паров. Поэтому заправка самолетов охлажденным топливом может в значительной мере снизить кавитацию топлива в баках ВС.

Температура выкипания 10 % топлива характеризует пусковые качества топлива. Для того, чтобы запустить двигатель, необходимо к началу запуска иметь пусковой заряд – смесь воздуха с парами топлива в отношении не более 25:1, что соответствует нижнему пределу воспламенения керосинов. Создание такого заряда, особенно при низких температурах, может быть достигнуто при наличии в топливе 10 %-ой фракции, выкипающей при возможно более низкой температуре. Чем ниже температура выкипания 10 %-ной фракции топлива, тем легче запустить двигатель при низких температурах окружающего воздуха. Для авиационного керосина величина температуры выкипания 10 %-ной фракции должна находиться в определенных пределах, причем минимум нижнего предела должен определяться возможностью легкого запуска двигателя на данном керосине, а максимум верхнего предела должен гарантировать нормальную работу двигателя без образования паровоздушных пузырьков.

Температура выкипания 50 % керосина характеризует среднюю испаряемость топлива и влияет на скорость прогрева двигателя, устойчивость работы на малых оборотах и приемистость двигателя.

Установлено, что быстрый прогрев авиационного двигателя до момента перехода на полный газ возможен, если 50 %-ая фракция находится в пределах не выше указанного в нормативных документах на топливо. Чем выше эта температура, тем хуже керосин испаряется и тем большее время прогрева двигателя требуется. Приемистость (время перехода с режима малого газа на взлетный режим) и устойчивость работы двигателя тем лучше, чем меньше температура данной нормированной точки на кривой фракционной разгонки.

Температура выкипания 90 % и 98 % керосина характеризует полноту сгорания топлива в двигателе. Если эти температуры слишком высокие, то не будет обеспечена полнота испарения керосина. Это вызывает снижение тяги двигателя вследствие ухудшения качества смеси, поступающей в камеру сгорания, увеличивается удельный расход топлива и, следовательно, уменьшается дальность полета самолета. Одновременно усиливается дымление двигателя и образование нагаров на участках поверхности камер сгорания и жаровых труб. При этом нарушается теплоотвод с нагретых участков элементов двигателя. В результате происходит коробление стенок камеры сгорания и жаровых труб, а в предельном случае растрескивание их поверхностей, что снижает ресурс работы двигателя в целом.

Современные авиационные двигатели требуют, чтобы применяемые керосины имели $t_{90\%}$ не выше 270 °С, а $t_{98\%}$ не выше 315 °С, что соответствует характеристикам для топлива Jet-A, а у ТС-1 и РТ данная характеристика значительно лучше.

2. Экспериментальная часть

Перед испытанием авиатопливо обезвоживают. При повышенном содержании воды в топливе его обезвоживают предварительным отстаиванием с последующим фильтрованием.

Фракционную разгонку проводят на приборе АРНС (рис. 2).

Порядок проведения испытания

В сухой и чистый цилиндр наливают 100 мл подготовленного к испытанию топлива. После этого переливают пробу топлива из цилиндра в колбу прибора так, чтобы топливо не попало в отводную трубку колбы. Колбу плотно закрывают пробкой с укрепленным в ней термометром так, чтобы

верхний конец ртутного шарика находился на уровне нижнего края отводной трубки колбы как показано на рис. 2.

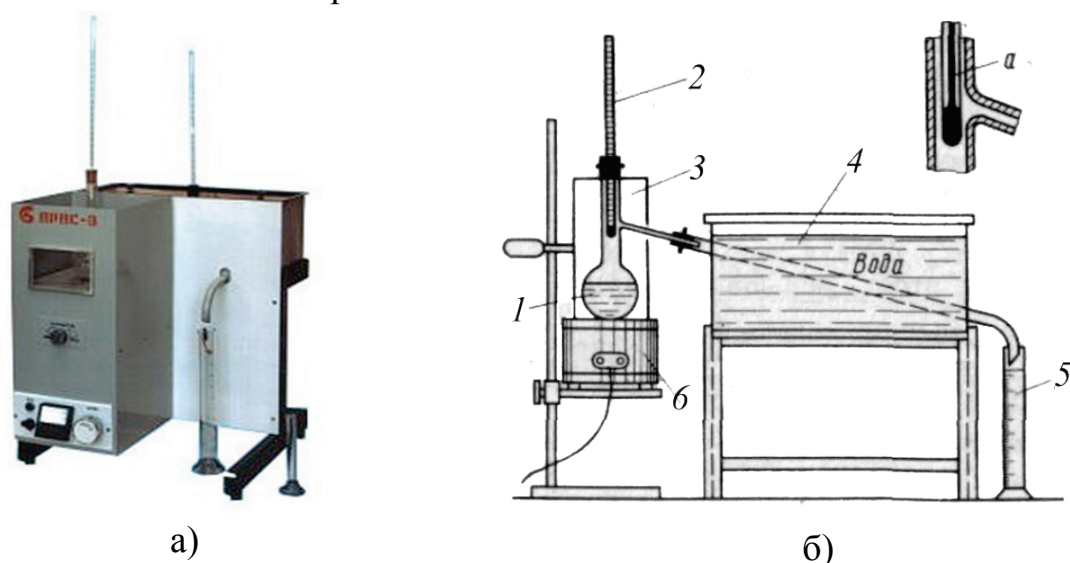


Рис. 2. Общий вид а) и составные части прибора АРНС-э б): 1 – колба с образцом топлива; 2- термометр для измерения температуры паров топлива уходящих в холодильник с интервалом измеряемых температур до 360 °С и точностью измерения температуры до 1 °С; 3 – кожух; 4 - холодильником-конденсатором паров топлива; 5 – мерный цилиндр на 100 мл; 6- электронагреватель.

После этого колбу устанавливают на электронагреватель и укрепляют отводную трубку колбы пробкой в передней части холодильника-конденсатора. Под выходным концом трубки холодильника устанавливают мерный цилиндр так, чтобы нижний конец трубки был ниже верхнего обреза цилиндра. Собранный прибор, тумблером включают электрообогрев и устанавливают необходимую величину напряжения ЛАТРа. Наблюдают в смотровое окно за процессом закипания топлива. При чрезмерной интенсификации кипения паров регулируют величину обогрева ручкой на передней панели прибора. Пары топлива накапливаются над поверхностью жидкости и поднимаются вверх по горловине колбы. Дойдя до отводной трубки, они направляются в холодильник-конденсатор, заполненный проточной водой, откуда конденсируются и вытекают из правой части трубки в мерный цилиндр. При падении первой капли конденсированного топлива фиксируют температуру на термометре. Данная температура считается температурой начала кипения (перегонки).

Далее разгонку ведут таким образом, чтобы падение капель составляло 4-6 штук в секунду. Скорость разгонки регулируют ручкой ЛАТРа. При

достижении уровня топлива в мерном цилиндре 10; 50; 90 и 98 мл отмечают температуру, соответствующую этим объемам в цилиндре по термометру. Они будут соответствовать 10; 50; 90 и 98 % отгона топлива. По полученным результатам на диаграмме, полученной от преподавателя, строят кривую разгонки опытного образца топлива и сравнивают их с нормативными значениями.

Делают вывод о пригодности данного образца топлива к применению.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое испаряемость? Чем испарение отличается от кипения?
2. Какими основными показателями характеризуется испаряемость топлив?
3. Дайте характеристику эксплуатационных значений характерных точек на кривой фракционной разгонки.
4. Рассмотрите влияние испаряемости на высоту полета.
5. Рассмотрите влияние испаряемости на условия холодного запуска двигателя.
6. Рассмотрите влияние испаряемости на приемистость работы двигателя.
7. Рассмотрите влияние испаряемости на условия нагарообразования и полноты сгорания топлива в двигателе.
8. Рассмотрите отрицательное и положительное влияние повышенной испаряемости на работу топливной системы и двигателя.

Лабораторная работа № 3.

ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ

Цель работы:

- изучить эксплуатационное значение показателей воспламеняемости авиационных топлив;
- научиться определять температуру вспышки топлив и масел по ГОСТ 6356 и ГОСТ 4333;
- знать количественные значения этих показателей.
-

1. Теоретическое введение

Пожаро- и взрывобезопасность ГСМ являются одними из важнейших эксплуатационных характеристик, обеспечивающих безопасность их использования и надежность эксплуатации ВС и наземных топливозаправочных комплексов.

По характеристикам воспламеняемости все ГСМ делятся на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ) жидкости.

Легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ) - это жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки не выше 61 °С.

Горючая жидкость (ГЖ) - это жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источников зажигания и имеющая температуру вспышки выше 61 °С.

Эти характеристики включают в себя нормирование и контроль воспламеняемости ГСМ по их температурным и концентрационным пределам.

Температура вспышки – такая минимальная температура жидкости, при которой смесь ее паров с воздухом воспламеняется при поднесении источника открытого пламени, но после удаления источника открытого пламени горение паров не продолжается.

Температура воспламенения - такая минимальная температура жидкости, при которой смесь ее паров с воздухом воспламеняется при поднесении источника открытого пламени, а после удаления источника открытого пламени горение паров продолжается.

Температура самовоспламенения - такая минимальная температура жидкости, при которой смесь ее паров с воздухом воспламеняется без поднесения источника открытого пламени.

Температура вспышки и воспламенения определяет возможности использование топлива в бензиновых двигателях, а температура самовоспламенения в дизелях.

Кроме этих показателей существуют концентрационные показатели, определяющие параметры воспламенения.

Температура вспышки для реактивных топлив ТС-1 и РТ нормируется не ниже 28 °С, тогда как у бензинов она составляет величину порядка минус 35 °С.

Наименьшая концентрация горючих паров в смеси с воздухом, при которой смесь уже может воспламениться от источника зажигания и пламя распространяется па весь объем горючей смеси, называется **нижним концентрационным пределом воспламенения (НКПВ)**.

Смесь воздуха с горючим или паром на нижнем концентрационном пределе воспламенения содержит избыток воздуха. Фактически, наибольшее давление при взрыве наблюдается у смесей с концентрацией горючего несколько выше стехиометрической, так как скорость горения этой смеси выше скорости горения смеси со стехиометрической концентрацией компонентов (*Стехиометрический состав смеси* - состав, который точно соответствует

количественному содержанию веществ, соединяемых друг с другом при реакции горения).

Недостаток воздуха в смесях, богатых горючим, ведет к тому, что смесь может терять способность воспламеняться. Для различных смесей концентрация горючего, при которой смесь уже не способна воспламеняться, не одинакова.

Та наибольшая концентрация горючих паров, газов или пылей в смеси с воздухом, при которой смесь еще способна воспламеняться от источника зажигания с распространением пламени на весь ее объем, называется **верхним концентрационным пределом воспламенения (ВКПВ)**. ВКПВ характеризуется избытком горючего и малым количеством воздуха. При воспламенении такой газо-воздушной смеси часть тепла химической реакции расходуется на нагрев не участвующего в реакции горючего, поэтому продукты горения нагреваются не до максимальной температуры; давление при взрыве составляет 0,3 - 0,4 МПа. Для реактивных топлив ТС-1 и РТ НКПВ составляет 1,5 % об., а ВКПВ – 8,0 % об. Для сравнения для бензинов эти величины составляют соответственно: НКПВ 0,8 % об., а ВКПВ – 5,6 % об.

Стандартные методы определения температуры вспышки ГСМ

В настоящее время существует два основных метода определения температуры вспышки:

А) метод определения температуры вспышки в закрытом тигле по ГОСТ 6356.

Сущность метода заключается в определении самой низкой температуры горючего вещества, при которой в условиях испытания над его поверхностью образуется смесь паров и газов с воздухом, способная вспыхивать от источника зажигания, но скорость образования этой смеси еще недостаточна для продолжения последующего горения. Для этого испытуемый продукт нагревают в закрытом тигле с постоянной скоростью при непрерывном перемешивании и испытывают на вспышку через определенные интервалы температур с использованием прибора, изображенного на рис. 1 и 2.

Б) Метод определения температуры вспышки в открытом тигле по ГОСТ 4333

Сущность метода заключается в нагревании пробы нефтепродукта в открытом тигле с установленной скоростью до тех пор, пока не произойдет вспышка паров (температура вспышки) нефтепродукта над его поверхностью от зажигательного устройства и пока при дальнейшем нагревании не произойдет загорание продукта (температура воспламенения) с

продолжительностью горения не менее 5 с. Общий вид прибора приведен на рис. 3.

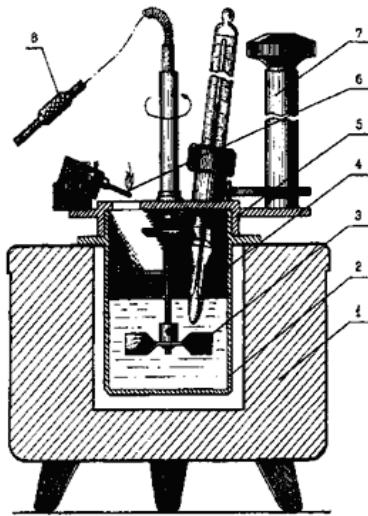


Рис 1. Ручной прибор для определения температуры вспышки в закрытом тигле. По ГОСТ 6356: 1 - корпус; 2 - тигль для пробы; 3 - мешалка; 4 - термометр; 6 - запальник; 7 - ручка открытия лючка для введения источника огня в объем тигля; 8 – привод мешалки.

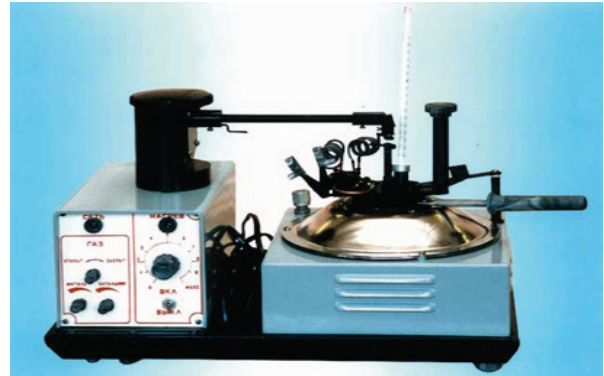


Рис. 2. Общий вид полуавтомата для определения температуры вспышки в закрытом тигле по ГОСТ 6356

Выбор метода определения температуры вспышки определяется требованиями нормативной документации на каждый вид ГСМ.

Значение температуры вспышки, определенное тем или другим методом, заметно различаются, т. к. методика проведения испытания и конструкция приборов разная. Как правило, температура вспышки в открытом тигле выше, чем в закрытом, для одного и того же образца.



Рис. 3. Внешний вид прибора для определения температуры вспышки в открытом тигле по ГОСТ 4333

2. Экспериментальная часть

Определение температуры вспышки реактивного топлива ТС-1 проводится по ГОСТ 6356 с использованием ручного прибора, изображенного на рис.1.

Отобранную пробу топлива аккуратно заливают в предварительно открытый тигль до риски, нанесенной на внутреннюю поверхность тигля. Крышку тигля с установленным в ней термометром закрывают и включают электрообогрев через ЛАТР. За температурой топлива следят по термометру. Скорость нагревания должна составлять 5-6 °С в минуту, при этом топливо периодически перемешивают ручной мешалкой 8 (рис. 1). При достижении температуры топлива 26 °С 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 топлива с воздухом. Если вспышка не произошла, снижают скорость нагрева до 2 °С в минуту и повторяют попытку через каждый градус, перед испытанием перемешивая топливо в тигле мешалкой. За температуру вспышки принимают температуру жидкости при которой произошла вспышка смеси паров топлива и воздуха.

На этом испытание прекращают, записывают полученный результат в протокол испытаний, отключают обогрев прибора от электросети.

Для топлива ТС-1 температура вспышки не должна быть менее 28 °С.

По полученным результатам делают вывод о кондиционности испытанного образца топлива.

3. Контрольные вопросы

1. Какое значение имеет воспламеняемость при эксплуатации авиатехники?
2. Что определяет воспламеняемость ГСМ?
3. Дайте определение температур вспышки, воспламенения и самовоспламенения.
4. Что включает в себя понятие концентрационных пределов воспламенения?
5. Сформулируйте основные отличия ЛВЖ и ГЖ.
6. В чем отличие определения температуры вспышки по ГОСТ 6356 и ГОСТ 4333?
7. Опишите методику определения температуры вспышки топлива ТС-1.
8. Отличаются ли результаты определения температуры вспышки одного и того же образца по ГОСТ 6356 и ГОСТ 4333? Дайте мотивированный ответ.

Лабораторная работа № 4.

СТАБИЛЬНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ

Цель работы:

- освоить основные данные о стабильности топлив, закономерности ее изменения и факторы, определяющие сохранение и изменение стабильности;
- изучить влияние стабильности топлив на работу топливной системы ВС и двигателя;
- научиться определять термическую стабильность топлив в статических условиях по ГОСТ 9144.

–

1. Теоретическое введение

Основные понятия и представления о стабильности топлив

Под стабильностью топлив понимают их способность сохранять неизменными свои физико-химические свойства и состав в процессе транспортировки, хранения и прокачки по топливной системе летательного аппарата и двигателя.

Причиной изменения свойств топлив является их окисление кислородом воздуха (автоокисление), в результате которого в них могут образовываться различные продукты окисления (перекиси, спирты, смолистые соединения) и др.

Интенсивность автоокисления зависит от химического и фракционного состава топлив, температуры, наличия в надтопливном пространстве и в самом топливе кислорода и катализаторов окисления металлов, входящих в состав конструкционных материалов элементов топливных систем.

Состав образующихся нерастворимых продуктов окислительного уплотнения сложен, но результат этого процесса приводит к тому, что топливо из товарного продукта превращается в смесь нефтяных отходов, непригодных к применению на ВС.

Установлено, что скорость смолообразования при нормальных температурах пропорционально содержанию углеводов, содержащих в структуре своей молекулы двойные связи: непредельные углеводороды и образующиеся в процессе их окисления высокомолекулярные полимеры, отрицательно сказывающиеся на эксплуатационные свойства топлив.

Углеводороды, составляющие топлива, в газовой и жидкой фазах окисляются в зависимости от содержания кислорода в зоне реакции. Чем оно выше, тем больше образуется продуктов окисления. Для снижения этого

отрицательного эффекта применяют операцию азотирования топлива перед заправкой. Она состоит в продувке через объем топлива в заправочных резервуарах газообразного азота, вытесняющего растворенный в нем кислород. Азот предотвращает процессы окисления топлива. В стандартные авиатоплива, как правило, добавляют антиокислительные присадки для повышения их термостабильности.

Увеличение температуры способствует увеличению скорости и глубины окисления топлив. Максимальная температура жидкофазного окисления топлив ТС-1 и РТ составляет 150 °С, что соответствует началу кипения на кривой фракционной разгонки. На рис. 1 показаны характерные температуры, при которых образуется максимальное количество осадка в процессе окисления для разных сортов реактивного топлива.

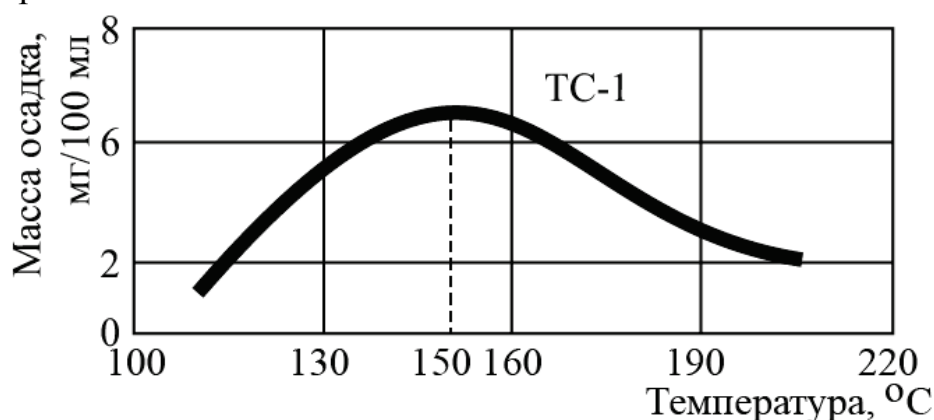


Рис. 1. Масса образования смол при различных температурах авиакеросина ТС-1

Из приведенных данных видно, что чем выше температура начала кипения топлива, тем при более высокой температуре образуется максимальное количество осадка при его окислении. У топлива ТС-1 температура начала кипения составляет 150 °С. Это определяет наличие на кривой величины осадкообразования (рис. 1) максимума и объясняется тем, что после начала кипения топлива происходит интенсивный процесс парообразования, при котором из жидкой фазы интенсивно выделяется и окислитель - кислород, что заметно ослабляет скорость окисления в жидкой фазе и, соответственно, накопление осадка.

Влияние конструкционных материалов на скорость окисления и стабильность топлива определяется их каталитической активностью процессов полимеризации и конденсации с образованием нерастворимых веществ, особенно при повышении температуры.

По скорости окисления их можно расположить в следующем порядке по мере убывания каталитических свойств: $Pb > Cu > Sn > Cr > Fe > Al$. Сплавы: нержавеющие стали > бронзы > латуни > дюралюминий. Некоторые металлы ингибируют (замедляют) процессы окисления: $V > Mo > Mg > W > Ni$.

Катализ окисления углеводородов проявляется при контакте топлив с солями металлов, их ионами и самими металлами. Термоокислительная стабильность топлив снижается в присутствии смолистых и сернистых соединений и, особенно, меркаптанов. В процессе производства топлив при использовании операции гидроочистки (обработки топлив газообразным водородом при высоких температурах и давлениях) из топливных фракций почти полностью удаляются гетероорганические и непредельные соединения, а меркаптаны полностью. Это позволяет гидроочищенным маркам топлив (РТ; Т-8в; Т-6) успешно противостоять окислению, т. е. делает их более термостабильными до температур 300 – 350 °С.

Методы оценки стабильности топлив

Стабильность топлив следует рассматривать в трех характерных для эксплуатации условиях:

- при длительном хранении, когда окисление происходит при нормальных температурах окружающего воздуха;
- в топливной системе дозвуковых ВС, где температуры топлива не поднимается выше 60 - 70 °С;
- в топливной системе сверхзвукового ВС, где нагрев топлива может превышать 100-150 °С.

О стабильности топлива можно судить по следующим показателям качества: **содержанием фактических смол в статических и динамических условиях.**

Они представляют собой твердый или полужидкий остаток после полного выпаривания 100 мл топлива. Размерность – мг/100 мл.

По своей природе фактические смолы - это вещества изначально растворимые в топливе. Продолжение их окисление приводит к образованию и выделению из топлив в виде осадка нерастворимых продуктов окисления.

Количество фактических смол в различных марках топлив прямой перегонки сернистых дистиллятов должно быть не более 5 мг/100 мл, а для малосернистых и гидроочищенных топлив, не более 4 мг/100 мл. Средние количества нерастворимых осадков и растворимых смол приведены в табл. 1.

Стабильность топлива оценивается также по йодному числу (ЙЧ), т. е. количеству грамм йода, присоединившихся к молекулам непредельных

углеводородов с двойными и тройными связями в процессе реакции их разрыва, входящих в состав 100 мл топлив. ЙЧ оценивается в г $J_2/100$ мл.

Реакция протекает при комнатной температуре в течении 30 мин. Значение ЙЧ оценивается по массе вступившего в реакцию йода титрованием топлива с навеской йода. Для топлив прямой перегонки сернистых нефтей ЙЧ не должно превышать 3,5 г $J_2/100$ мл. для малосернистых и гидроочищенных топлив – не более 2 и 0,5.

Таблица 1

Средние количества нерастворимых осадков и растворимых смол в топливах

Топливо	Содержание мг/100 мл		
	Нерастворимого осадка		Растворимых смол
	норма	фактически	
ТС-1	35	21 - 31	21 - 28
РТ	6	3 - 9,5	11-14
Т-8В	6	0,6 - 3	11

Реакция присоединения описывается следующим образом:

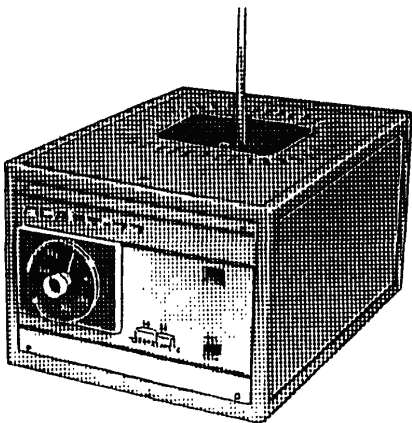
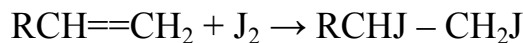


Рис. 2. Общий вид аппарата ЛСАРТ

В динамических условиях термическая стабильность топлива оценивается по методу JFTOT по перепаду давления на контрольном фильтре и массе отложений на контрольном образце фрагмента, имитирующего участок топливопровода. Общий вид прибора приведен на рис. 3.

Прибор JFTOT используются для анализа термической стабильности реактивного топлива в динамических условиях и рекомендован комиссией ASTM для анализа по методу D 3241.



Рис. 3. Прибор JFTOT

Технические характеристики:

- Загрузка образца - от 1000 мл
- Диапазон температур: +180..+380°C
- Дифференциальное давление: 0..300 мм.рт.ст.
- Максимальное давление: ~38 атм

Для отечественных реактивных топлив термическая стабильность оценивается по количеству образовавшегося нерастворимого осадка при выдерживании топлива при температуре 150 °С в течении 4 часов в контакте с воздухом в надтопливном пространстве и катализатором (медной пластинкой) на аппарате ЛСАРТ по ГОСТ 9144 (рис. 2).

Установка является обязательной при выпуске реактивного топлива по спецификациям Jet A-1, JP-8, Джет А-1.

2. Экспериментальная часть

Испытуемое топливо в объеме 50 мл отмеривают мерным цилиндром и переносят в стеклянный стакан, входящий в комплект прибора, изображенного на рис. 4.

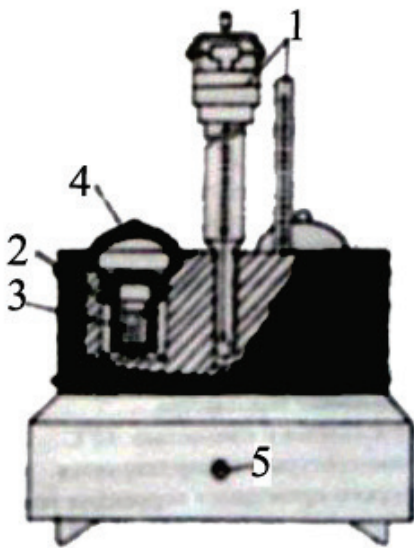


Рис. 4. Прибор для определения стабильности реактивных топлив: 1 – термометр; 2 – гнездо для установки металлической бомбы; 3 – стакан с топливом; 4 – крышка гнезда бомбы; 5 – клемма заземления термостата.

Перед испытанием прибор подключают к сети, установив заданную температуру нагрева контактного термометра 150 °С. Стеклянный стакан помещают в герметичный сосуд из нержавеющей стали (бомбу) и опускают в него медную пластинку, предварительно зачищенную до блеска наждачной бумагой. Бомбу плотно закрывают навинчивающейся крышкой для обеспечения герметичности. С помощью приспособления, входящего в состав прибора в виде металлического стержня с резьбой на концевой части устанавливают закрытую бомбу в гнездо прибора и закрывают гнездо крышкой. Засекают время испытания – 1 час.

За 10 минут до окончания испытания в термостат, нагретый до 105 °С кладут беззольный фильтр на 5 минут для просушки от влаги. После просушки вынимают фильтр щипцами из термостата, дают остыть и взвешивают на электронных аналитических весах с точностью до 0,0001 г. Результат взвешивания записывают в отчет. Вынимают бомбу, устанавливают ее в специальный держатель на лабораторном столе и аккуратно отвинчивают крышку. Дав бомбе остыть, щипцами извлекают стакан с топливом, переливают его в делительную воронку. Просушенный фильтр свертывают в виде воронки, помещают в стеклянную

воронку, расположенную под делительной воронкой, и медленно пропускают через него пробу топлива.

Скорость фильтрации должна быть такой, чтобы анализируемое топливо полностью профильтровалось. По окончании фильтрации, фильтровальную бумагу помещают в нагретый до 105 °С воздушный термостат для просушки. После этого щипцами вынимают сухой фильтр, охлаждают его и взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. Результат взвешивания вносят в протокол испытаний.

Рассчитывают содержание фактических смол в испытуемом образце топлива по формуле:

$$G_{\text{смол}} = (G_2 - G_1) * 2 * 4,$$

где $C_{\text{смол}}$ – концентрация фактических смол в мг/100 мл;

G_1 – масса фильтра до фильтрования пробы, г;

G_2 – масса фильтра после фильтрования пробы, г;

2 - коэффициент приведения массы топлива к 100 мл;

4 – коэффициент пересчета массы осадка к стандартной длительности испытания – 4 часа.

По результатам испытания делают вывод о кондиционности испытанного топлива.

3. Контрольные вопросы

1. Что понимается под термином стабильность топлив?
2. Какие факторы влияют на стабильность топлив?
3. Какими методами оценивается стабильность топлив?
4. Какие методы испытаний применяют для определения фактических смол? Сравните какой из них более полно имитирует поведение топлив в топливной системе ЛА.
5. Опишите методику определения фактических смол.
6. От чего зависит температура испытания при определении фактических смол в статических условиях?
7. Для чего в образец топлива при проведении испытаний по определению фактических смол в статических условиях помещают медную пластинку?

Лабораторная работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Цель работы:

- изучить закономерности течения масел;
- уметь связывать характер течения рабочих жидкостей с их природой, составом, наличием посторонних примесей, температурой и давлением;
- знать влияние реологических характеристик жидкостей на эксплуатацию летательных аппаратов и двигателей;
- уметь определять реологические характеристики жидких авиационных ГСМ.

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 её слоев (молекул), вызванному действием внешней силы. 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 постоянным физическим свойством.

Вязкость характеризуется величиной, входящей в формулу Ньютона в виде коэффициента η . Эта величина называется динамической вязкостью и измеряется в единицах Пз (Пуаз). $1 \text{ Пз} = 0,1 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{dv}{dx}, \quad (1)$$

где S – площадь соприкосновения молекул, м^2 ;

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

Термин «динамическая вязкость» соответствует физическому смыслу η , т. к. η входит в уравнение, связывающее силу внутреннего трения с изменением скорости на единицу расстояния, перпендикулярного к плоскости движения жидкости.

Впервые, формулировка динамической вязкости была введена врачом Пуазейлем в 1842 году при изучении процесса циркуляции крови в кровеносных сосудах. За единицу динамической вязкости η принимают силу сопротивления, которую жидкость оказывает при относительном движении двух слоев площадью 1 м^2 , 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 используется понятие «кинематическая вязкость».

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

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

где η – динамическая вязкость жидкости, Пз;

ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Размерность кинематической вязкости в системе СИ [$\text{м}^2/\text{с}$]. Также для удобства в технике используется размерность Ст (Стокс) = $10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ и сСт (сантиСтокс) = $10^{-6} \text{ мм}^2/\text{с}$.

Наиболее удобным способом измерения вязкости при движении жидкости относительно твердого тела является наблюдение за истечением исследуемых жидкостей через капиллярные трубки.

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 масел характеризуются вязкостно-температурной характеристикой (ВТХ) (рис. 1).

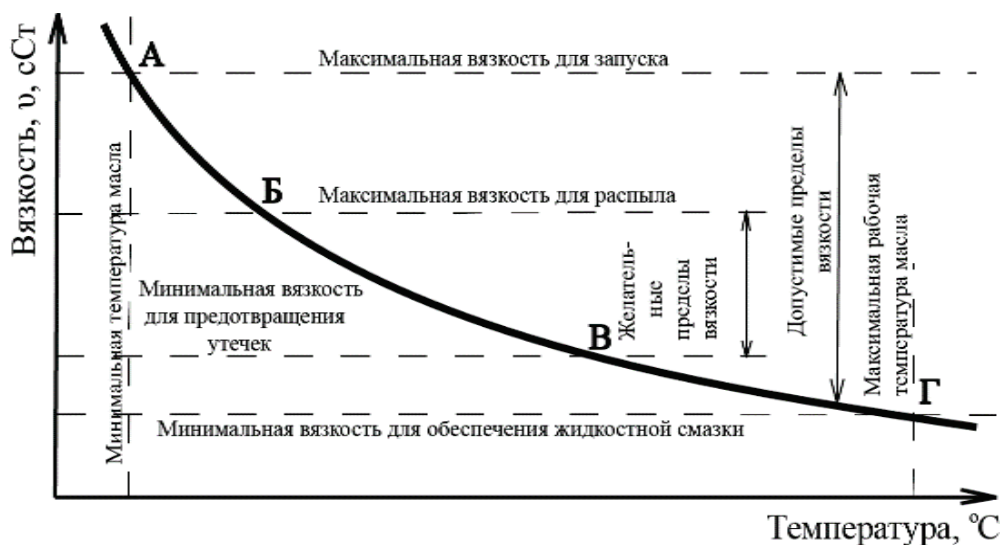


Рис.1. Зависимость вязкости от температуры

Точка А графика соответствует максимальной вязкости, при которой возможен холодный запуск двигателя. Точка Б определяет значение вязкости масла, при которой обеспечиваются условия охлаждения и работоспособности масел в узле трения. В точке В вязкость снижается до уровня, при котором отсутствует утечка масла из узла трения и обеспечиваются условия его герметизации. В точке Г масло имеет минимальную вязкость, при которой еще обеспечивается гидродинамический режим смазки (создается разделительная масляная пленка).

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. 2). В качестве критерия пологости ВТХ используют эмпирическую величину, называемую индексом вязкости (ИВ). ИВ - это перепад значений кинематической вязкости масла при 40 °С и 100 °С. Чем выше значение ИВ, тем предпочтительнее использование такого масла в узлах трения, работающих в широком диапазоне температур.

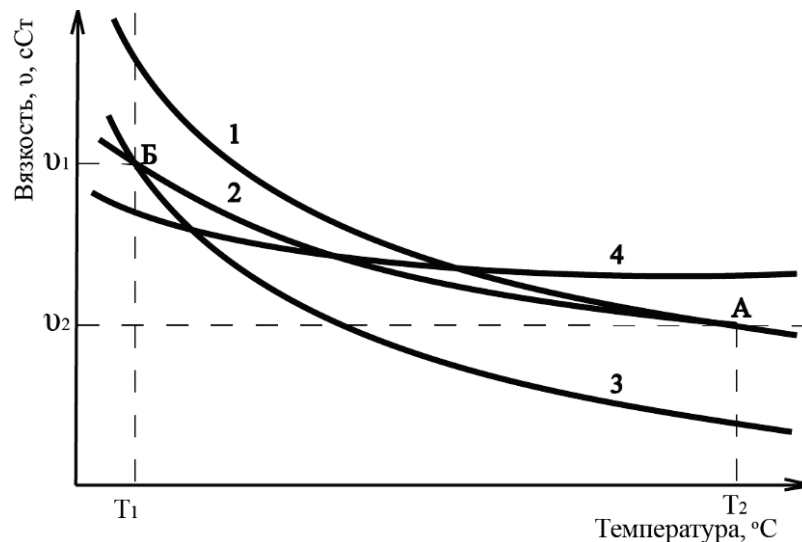


Рис. 2. Изменение угла наклона ВТХ у незагущенных и загущенных минеральных масел, синтетических масел: 1 – исходное масло без присадок; А – минимальный уровень вязкости при высоких температурах; Б – максимально допустимый уровень вязкости при низких температурах; 2- загущенное масло; 3 – незагущенное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

Эксплуатационные значения

Влияние реологических свойств, в том числе и вязкости ГСМ на работу соответствующих систем значительно.

Нормальная работа топливных систем реактивных двигателей, в частности, форсунок во многом определяется вязкостью топлива. Повышение вязкости за счет переохлаждения в условиях полета при низких температурах, приводит к увеличению размера капель, снижению тонкости распыла и уменьшению угла распыла топлива. Это приводит к ухудшению испаряемости топлив и полноты его сгорания.

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

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

где F – сила жидкостного трения;

η - динамическая (абсолютная) вязкость масла;

V - линейная скорость перемещения трущихся поверхностей;

S – площадь соприкосновения трущихся тел;

h – толщина масляного слоя.

Из формулы следует, что повышение вязкости масла приводит к повышению потерь мощности на трение, связанное с прокачкой масла по масляной системе. 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.

Способы определения вязкости

Устройство для определения вязкости масла называется вискозиметром. В настоящее время существует большой ассортимент разнообразных вискозиметров, однако наиболее широко распространены вискозиметры капиллярного типа. Общий вид вискозиметра представлен на рис. 3.

Расчет кинематической вязкости производится по формуле:

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

где ν – кинематическая вязкость масла, мм²/с:

τ – время истечения опытного образца, с;

k - постоянная вискозиметра.

Процедура определения кинематической вязкости осуществляется в жидкостном термостате рис. 4.

2. Экспериментальная часть

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

Образец заливают в вискозиметр через толстую стеклянную трубку вискозиметра в количестве 5 мл. Вискозиметр устанавливают в термостат и выдерживают при температуре испытания 5 мин. В узкой трубке вискозиметра создают разрежение и в трубку малого диаметра вискозиметра набирают анализируемый образец так, чтобы он полностью заполнил нижнюю сферическую полость вискозиметра. После этого открывают доступ атмосферного воздуха в эту трубку и засекают время истечения масла из данной полости от сужения вискозиметра до риски под сферической полостью с точностью до 0,1 с. Затем ещё раз повторяют измерение и записывают среднее арифметическое значение из двух измерений. Опыт повторяют при температурах от 40 до 90°C с шагом в 5-10°C. По формуле (4) вычисляют значение кинематической вязкости при каждой температуре. По полученным данным строят ВТХ. Сравнивают полученный результат измерения вязкости при 50 °С с паспортными данными на масло МС-8п и делают заключение о его кондиционности.



Рис. 3. Общий вид капиллярного вискозиметра



Рис. 4. Общий вид жидкостного термостата

Контрольные вопросы

1. Что характеризует динамическая вязкость жидкости?
2. Что называется кинематической вязкостью и в каких единицах она измеряется?
3. Что такое ВТХ?
4. Какими способами можно улучшить ВТХ масел?
5. Опишите методику определения вязкости ГСМ.
6. Укажите достоинства и недостатки синтетических масел.
7. Дайте определения максимальному и минимальному значениям вязкости с точки зрения эксплуатационных характеристик смазываемого агрегата.

Лабораторная работа № 6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ КИСЛОТ И ЩЕЛОЧЕЙ

Цель работы:

- уметь определять нейтральность топлив и масел;
- изучить эксплуатационное значение наличия кислот и щелочей в топливе.

1. Теоретическое введение

Наличие свободных минеральных кислот и щелочей в нефтепродуктах можно объяснить рядом причин. Появление их в продуктах, подвергшихся при производстве очистке объясняется либо неполной нейтрализацией после селективной очистки, либо плохой отмывкой свободной щелочи. Иногда присутствие минеральных кислот и щелочей обусловлено неправильными хранением, транспортировкой и т. д.

Минеральная кислотность ГСМ почти всегда определяется присутствием серной кислоты. Другие минеральные кислоты редко обнаруживаются в товарных ГСМ. Бывают случаи нахождения следов соляной кислоты в ГСМ, транспортирующихся в ж/д цистернах. Щелочность чаще всего объясняется присутствием NaOH и Na₂CO₃. Присутствие минеральных кислот и щелочей недопустимо в составе ГСМ, так как эти соединения вызывают коррозию и нарушают свойства конструкционных материалов, соприкасающихся с ними в условиях производства, транспортировки, хранения и применения изделий.

Подобным действием обладают и производные серной кислоты: сульфокислоты и кислые органические эфиры, обладающие сходными с кислотами вредными свойствами.

Для определения указанных вредных компонентов в товарных партиях ГСМ существуют качественные и количественные методы, стандартизованы, в основном, первые из них. Это можно объяснить тем, что присутствие даже ничтожных следов кислот и щелочей недопустимо в авиатопливах. В случае их обнаружения, партии нефтепродуктов должны браковаться.

2. Экспериментальная часть

Пробу испытуемого авиатоплива ТС-1 тщательно перемешивают с равным ему по объему количеством дистиллированной воды (примерно по 25 – 30 мл) в делительной воронке (рис. 1).

Закрыв пробку на горлышке воронки и нижний сливной кран, тщательно перемешивают водную и органическую фазы в течении 3 мин. При этом происходит экстрагирование кислот и щелочей, возможно присутствующих в топливе, в водную фазу, т. к. растворимость их в воде гораздо большая, чем в топливе.



Рис. 1. Общий вид делительной воронки

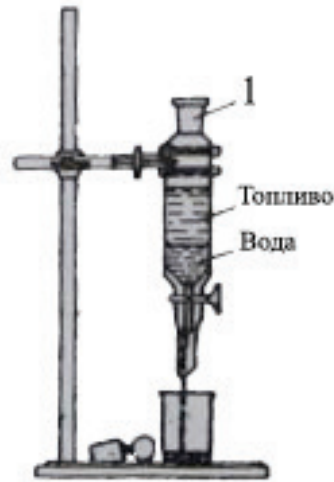


Рис. 2. Прибор для определения нейтральности

После этого воронку устанавливают в лабораторный штатив (рис. 2), дают возможность разделиться водной и топливной фазам, подставляют под воронку стаканчик или пробирку (рис. 2) и отбирают 3 пробы для тестирования объемом по 1-2 мл.

В один из стаканов добавляют 1-3 капли индикатора фенолфталеина, а в другой - метилоранжа. Окрашивание раствора в малиновый (для первого

индикатора) или розовый (для второго) демонстрирует наличие кислот и щелочей. При окрашивании проб следует браковать испытываемую партию нефтепродукта.

В последние годы вместо индикаторов стали использовать рН-метры, которые позволяют давать более объективную количественную оценку содержания ВКЩ в топливе.

3. Контрольные вопросы

1. Каковы причины попадания ВКЩ в топливо?
2. В чем опасность наличия ВКЩ в топливах?
3. Опишите методику определения ВКЩ.