1. Общие положения

1.1. Цель практических занятий

Практические занятий являются важной составной частью программы изучаемого студентами курса «Химмотология и контроль качества авиаГСМ».

Цель практических занятий:

- закрепление студентами знаний лекционного материала и получение практических навыков в определении количественных показателей эксплуатационных свойств авиационных топлив и масел;
- анализ показателей качества топлив и масел в процессе приема, хранения, подготовки к заправке и заправки авиаГСМ в баки ВС (входной, приемный, складской, аэродромный, арбитражный);
- химмотологический анализ влияния качества авиаГСМ на надежность работы агрегатов топливной и масляной систем.

2. Химмотологический анализ топливной системы ВС и авиационного ГТД

2.1. Анализ топливной системы ВС

Контрольные вопросы:

1. Источники загрязнений топлива внешнего и внутреннего происхождения.
2. Состав загрязнений в невырабатываемых (застойных) зонах баков ВС.
3. Возможные причины переполнения баков ВС и проливов топлива на стоянке.
4. Причины незакрытия люков заливных горловин баков ВС при верхней заправке (дозаправке) перед вылетом.
5. Аэродромный контроль качества топлива в баках ВС.
6. Электризация топлив. Причины. Последствия. Методы снижения.

2.2. Анализ топливной системы авиационного ГТД

Контрольные вопросы:

1. Последствия отказа топливного насоса низкого давления, установленного в расходном баке.
2. Причины засорения (отказа) топливных фильтров тонкой очистки.
3. Условия и источники смолообразования в топливной системе.
4. Влияние содержания ПВКЖ «И-М» на надежность работы агрегатов топливной системы ГТД.
5. Причины залипания золотниковых пар топливорегулирующей аппаратуры ГТД. Последствия.
6. Причины самовыключения ГТД после длительного полета при снижении режима работы до малого газа.
7. Фазы состояния воды в топливе. Растворимость воды в топливе. Формула Генри.

8. Методы предотвращения образования льда на топливных фильтрах тонкой очистки.

9. Назначение и механизм действия ПВКЖ «И-М» при снижении температуры топлива.

10. Причины и последствия нагарообразования при сгорании топлива в камере сгорания ГТД.

11. Показатели нагарообразующих свойств топлив.

12. Факторы, снижающие стабильность топлив.

13. Методы обеспечения стабильности топлив при длительном хранении в резервуарах ТЗК.

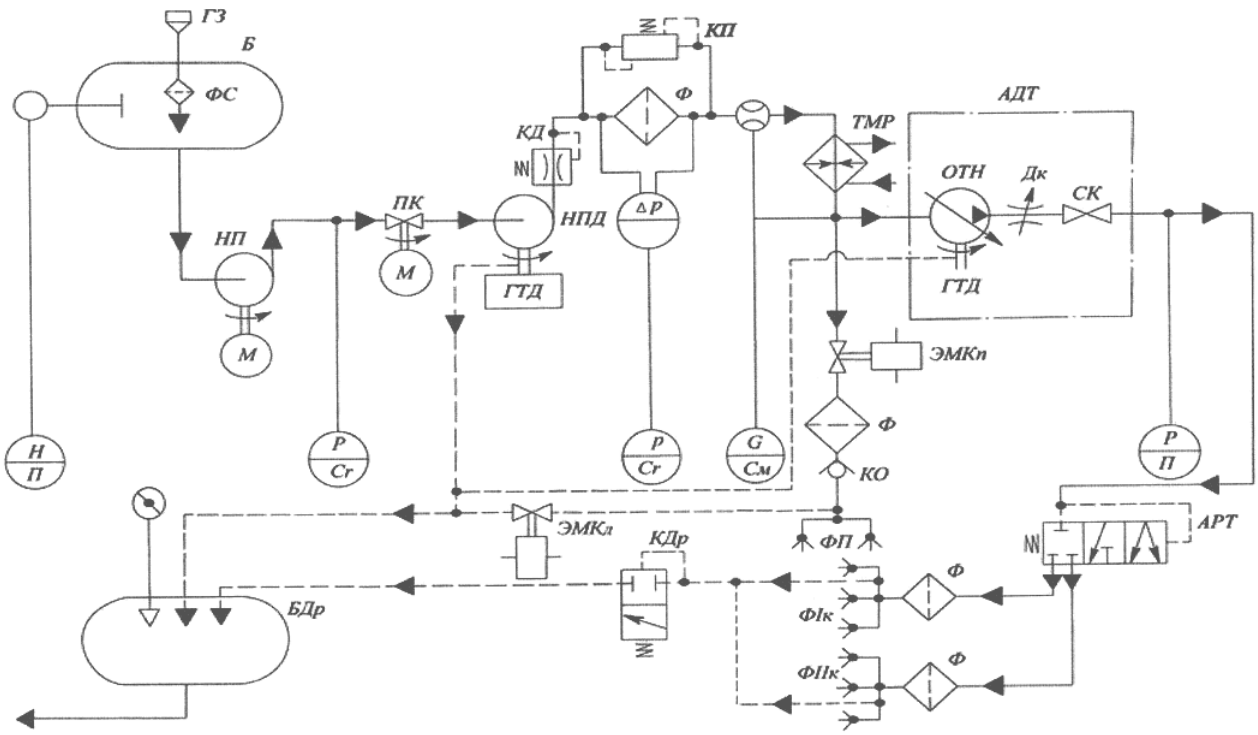

Рис. 1. Схема системы топливопитания ГТД: ФС – фильтрующая сетка; НП – подкачивающий насос; ПК – перекрытый (пожарный) кран топлива; НПД – подкачивающий двигательный насос; КД – дросселирующий клапан; КП – перепускной клапан; ТМР – топливомасляный радиатор; ОТН – основной топливный насос; Дк – дроссельный кран; СК – стоп-кран; АДТ – автомат дозировки топлива; АРТ – автоматический распределитель топлива; ФIК – первый контур форсунок; ФIIК – второй контур форсунок; ЭМКп – электромагнитный клапан пускового топлива; КО – обратный клапан; ФП – пусковые форсунки; КДр – дренажный клапан; ЭМКд – электромагнитный клапан дренажа топлива; БДр – дренажный бачок; Н/П – измеритель уровня топлива в баке; р/Ст – сигнализатор давления топлива; Δр/Ст – сигнализатор перепада давления на фильтре; G/Cm – суммирующий расходомер топлива; р/П – измеритель давления топлива перед форсунками

3. Определение количественных показателей качества авиационных топлив

3.1. Плотность топлива

Теоретическая часть.

Плотность ρ представляет собой массу жидкости в единице объема. Единицей измерения плотности в системе СИ служит 1 кг/м^3. Например, плотность бензинов составляет 730-760 кг/м^3, керосинов 780-830 кг/м^3, дизельных топлив 840-850 кг/м^3, нефти 840-960 кг/м^3.

При изменении давления и температуры плотность нефти или нефтепродукта также изменяется, поэтому ρ есть функция от давления Р и температуры Т, так что ρ=ρ(p, t). Для расчета плотности в зависимости от температуры используется формула:

$$\rho(t) = \rho\, 20[1+\xi(20-t)], \qquad (1)$$

где ξ (1/^{o}C) – коэффициент объемного расширения; t – температура (^{o}C); ρ_{20} – плотность жидкости при нормальных условиях (t=20°C. $\rho_o = p_{атм}$=0,1013 МПа). Для нефти и нефтепродуктов значения коэффициента ξ представлены в табл. 1. Из формулы (1) следует, что в тех случаях, когда t>20 С, ρ <ρ_{20}, а в тех случаях, когда t<20 С, ρ >ρ_{20}.

Таблица 1

Коэффициент ξ объемного расширения

Плотность ρ, кг/м^3	Коэффициент ξ, 1/^{o}C
700-719	0,001225
720-739	0,001183
740-759	0,001118
760-779	0,001054
780-799	0,000995
800-819	0,000937
820-839	0,000882
840-859	0,000831
860-879	0,000782
880-899	0,000734
900-919	0,000688
920-939	0,000645

Для расчета плотности нефти или нефтепродукта в зависимости от давления используется формула:

$$\rho(p) = \rho_{20}\ 1+\beta(p-p_{атм}) \ = \rho_{20}\left[1+\frac{p-p_{атм}}{K}\right], \qquad (2)$$

где β (1/Па) – *коэффициент сжимаемости;* К=1/β (Па) – *модуль упругости жидкости*. Средние значения модуля К упругости для бензинов составляют ≈

10^9 Па (1000 МПа); для керосинов, дизельных топлив и нефти ≈ $1{,}5*10^9$ Па (1500 МПа).

Используется также обобщенная формула, учитывающая как барическое, так и тепловое расширение:

$$\rho(p,T)=\rho_{20}[1+\xi(20-t)+\frac{p-p_{атм}}{K}]. \quad (3)$$

Практические задания.

1. Плотность керосина при температуре 20°С равна 800 кг/м^3. Вычислить плотность этого же керосина при температуре 5°С.

2. Температура авиационного керосина Т-1 с номинальной плотностью ρ_{20}=800 кг/м^3 опустилась на 8°С. На сколько % увеличилась его плотность?

3. Уровень керосина в вертикальном цилиндрическом резервуаре составлял утром 9 м, считая от дна резервуара. Определить, на сколько изменится этот уровень днем, когда средняя температура жидкости увеличится на 7°С.

4. Температура керосина (ρ_{20}=800 кг/м^3) в вертикальном цилиндрическом резервуаре уменьшилась за сутки на 10°С. На сколько изменится уровень жидкости в резервуаре, если известно, что первоначально он составлял 6 м?

5. Автомобильный бензин (ρ_{20}=730 кг/м^3) в цистерне бензовоза нагрелся на 25°С, заполнив ее до нижнего среза горловины, в связи с чем объем топлива стал равен номинальному объему цистерны 10 м^3. Определить, какой объем бензина будет зафиксирован в подземной емкости автозаправочной станции (АЗС) после слива цистерны, когда температура бензина уменьшится до температуры 15°С окружающего грунта.

6. Каково изменение вместимости участка стального нефтепровода (D=820 мм; δ=10 мм; L=100 км) при увеличении среднего давления находящейся в нем нефти на 10 атм?

3.2. Теплота сгорания АТ

Теоретическая часть.

Теплота сгорания – количество тепла, выделяющееся при полном сгорании 1 кг топлива и охлаждении продуктов сгорания до стандартной начальной температуры 293 К (+20°С).

В двигателях продукты сгорания не охлаждаются до начальной температуры и уносят с собой часть тепла (например, тепло конденсации паров воды, образовавшихся при горении водорода топлива), поэтому принято различать две теплоты сгорания: высшую ($H_о$) и низшую ($H_и$). Низшая теплота сгорания меньше высшей на величину теплоты конденсации паров воды. Эта теплота составляет примерно 2,5 МДЖ на 1 кг воды.

$$H_и = H_о - 2{,}5W \text{, МДЖ/кг}, \quad (4)$$

где W количество воды, образуемой при сгорании 1 кг топлива.

Его легко определить по содержанию водорода в топливе: $W=9[H_T]$, где $[H_T]$ – массовая доля водорода в топливе.

Для авиационных бензинов и керосинов, имеющих:

$$[H_T]=0{,}13\ldots0{,}15\ \frac{\text{кг водрода}}{\text{кг топлива}};\ W=1{,}15\ldots1{,}35\ \frac{\text{кг воды}}{\text{кг топлива}}.$$

Следовательно, теплота конденсации паров воды составляет:

$$2{,}5*W=2{,}9\ldots3{,}4\frac{\text{МДж}}{\text{кг топлива}}$$

Теплота сгорания углеводородного топлива известного состава C_nH_m может быть определена с помощью закона Гесса по тепловым эффектам реакции разложения топлива на углерод и водород и затем раздельного сгорания этих простых веществ с образованием CO_2 и HO_2.

Затраты энергии на разложение топлива равна стандартной теплоте его образования – энтальпии i_T 1 кг топлива.

Стандартная теплота разложения (образования) керосинов и бензинов равна:

$$i_T = -1{,}9\,МДж/кг\,. \qquad (5)$$

Теплота сгорания углерода с образованием CO_2 составляет 32,8 МДж/кг углерода. Для водорода – 120,4 МДж/кг водорода. Следовательно, выражение для низшей теплоты сгорания $H_и$ будет иметь вид:

$$H_и=32{,}8[C_T]+120{,}4[H_T]+i_T,\ \text{МДж/кг}, \qquad (6)$$

где $[C_T]$ – содержание углерода, $\frac{кг}{кг\ \ топлива}$;

$[H_T]$ – содержание водорода, $\frac{кг}{кг\ \ топлива}$.

Пример 1.

Определить низшую теплоту сгорания метана CH_4, энтальпия которого равна i_T=4,65 КДж/кг.

Определим $[C_T]$ и $[H_T]$:

$$[C_T]=\frac{12{,}011*1}{12{,}011*1+1{,}008*4}=0{,}749\frac{кг\ \ углерода}{кг\ \ топлива}; \qquad (7)$$

$$[H_T]=\frac{1{,}008*4}{12{,}011*1+1{,}008*4}=0{,}151\frac{кг\ \ водорода}{кг\ \ топлива}. \qquad (8)$$

Тогда, $H_и$=32,8*0,749+120,4*0,151-4,65=38,09 МДж/кг.

Практические задания.

<u>Задание 1.</u>

Определить низшую теплоту сгорания керосина, имеющего $[C_T]$=0.86 и $[H_T]$=0,14, энтальпия керосина i_T=-1,7 $\frac{МДж}{кг}$.

Задание 2.

Определить низшую теплоту сгорания метилового спирта CH_3OH, энтальпия которого i_T=-7,45 $\frac{МДж}{кг}$.

Задание 3.

Определить низшую теплоту сгорания этилового спирта C_2H_5OH, энтальпия которого i_T=-6,08 $\frac{МДж}{кг}$.

Задание 4.

Определить низшую теплоту сгорания углерода: $[C_T]$=1, $[H_T]$=0. Энтальпия i_T=0.

3.3. Энергоемкость (удельная объемная теплота сгорания)

Теоретическая часть.

Располагаемый запас энергии в баках ВС, т.е. максимальное количество тепла, которое может быть получено за счет сгорания топлива, равно произведению объема баков V на плотность топлива ρ и на его теплоту сгорания $H_и$.

Энергоемкость топлива – количество тепла, выделяемое при сгорании 1 $м^3$ топлива. В ряде пособий энергоемкость называют *удельной объемной теплотой сгорания.* Оно равно произведению удельной массовой теплоты сгорания $H_и$ на плотность топлива ρ_T:

$$H_V=H_и*\rho, \qquad (9)$$

где H_V – объемная удельная теплота сгорания, $\frac{МДж}{м^3}$;

$H_и$ – удельная массовая теплота сгорания, $\frac{МДж}{кг}$;

ρ – плотность топлива, $\frac{кг}{м^3}$.

Для самолетов определяющим показателем является объемная теплота сгорания, т.к. объем баков ВС ограничен.

Пример.

Сравнить удельную массовую $H_и$ и объемную H_V теплоты сгорании газообразного и жидкого водорода:

- газообразный водород: $H_и$=120 $\frac{МДж}{кг}$;
- плотность газообразного водорода: ρ=0,0846 $\frac{кг}{м^3}$;
- жидкий водород (t=20К) $H_и$=116 $\frac{МДж}{кг}$;
- плотность жидкого водорода (t=20К): ρ=70,8 $\frac{кг}{м^3}$.

Для жидкого водорода:

$$H_V=H_и*\rho=120*0{,}0846=10{,}15\ \frac{МДж}{м^3}.$$

Практические задания.

<u>Задание 1.</u>

Определить удельную объемную H_V теплоту сгорания керосина: $H_и=43{,}37\ \frac{МДж}{кг}$; $\rho=800\ \frac{кг}{м^3}$ водорода.

<u>Задание 2.</u>

Определить H_V углерода (графита). $H_и = 32{,}8\ \frac{МДж}{кг}$; $\rho=2250\ \frac{кг}{м^3}$.

Сравнить H_V углерода и керосина. Что мешает использованию углерода в качестве авиатоплива?

<u>Задание 3.</u>

Определить H_V авиабензина: $H_и=43{,}47\ \frac{МДж}{кг}$; $\rho=0{,}715\ \frac{кг}{м^3}$. Сравнить H_V авиабензина и керосина.

<u>Задание 4.</u>

Определить H_V бериллия: $H_и=66{,}6\ \frac{МДж}{кг}$; $\rho=1855\ \frac{кг}{м^3}$; $i_T=0$. Сравнить H_V бериллия и керосина.

<u>Задание 5.</u>

Определить H_V бора: $H_и=58{,}6\ \frac{МДж}{кг}$; $\rho=2300\ \frac{кг}{м^3}$; $i_T=0$. Какие препятствия для использования бора (или бороводорода) в ГА.

3.4. Отстаиваемость топлив

Теоретическая часть.

Одним из способов очистки топлив от механических примесей является отстаивание. Норматив на отстаивание топлива в резервуарах установлен приказом № 126 ДВТ ГА от 1992 г. И составляет 4 часа на 1 м взлива. То есть при уровне топлива в резервуаре 10 м время отстаивания должно быть не меньше 40 часов.

На частицу загрязнения радиусом $r_з$ действуют следующие силы:

- сила тяжести $F_T=m_з*g=\rho_з*V_з*g=\rho*\frac{4}{3}\Pi r_з^3*g$, (10)

где $m_з$, $\rho_з$, $V_з$ – масса, плотность и объем частицы загрязнения;

- архимедова сила $F_a = m_T*g = \rho_T*V_з*g = \rho_T*\frac{4}{3}\Pi r_з^3*g$, (11)

где m_T, ρ_T – масса и плотность топлива в объеме частицы загрязнения;

- сила вязкостоного трения (Стокса) $F_{Тр} = 6\Pi*V_Т*\rho_T*r_з*V_0$,

где V_T – кинематическая вязкость топлива; V_0 – скорость оседания частицы.

Закон Стокса справедлив лишь для малых R_e ($R_e \leq 1$).

Для установившегося движения частицы уравнение равновесия имеет вид:

$$F_{Тр}=F_T-F_a\,. \qquad (13)$$

После подстановки выражений (10, 11,12) в уравнение (13) получим:

$$6\Pi * V_T * \rho_T * r_з * V_0 = \frac{4}{3}\Pi r_з^3(\rho_з - \rho_T) * g\,. \qquad (14)$$

Из уравнения (14) можно получить формулу для установившейся скорости оседания V_0 частицы шарообразной формы:

$$V_0 = \frac{2180 r_з^2}{V_T} * (\frac{\rho_з}{\rho_T} - 1), \quad \left[\frac{мм}{с}\right]. \qquad (15)$$

Из формулы (15) может быть получено выражение для размера частицы загрязнения $r_з$ при заданной скорости осаждения V_0:

$$r_з = \sqrt{\frac{V_0 * V_т}{2180} * \frac{1}{(\frac{\rho_з}{\rho_T} - 1)}}, мм\,. \qquad (16)$$

В формулах (15, 16) размерности входящих величин имеют вид: $[r_з]$=мм; $[V_T]$=(сСт); $\rho_T = \rho_з = \frac{кг}{м^3}$.

Практические задания.

1. Подсчитать скорость оседания частицы загрязнения, установленную нормативом приказа № 126 ДВТ ГА от 1992 г.

2. Используя выражение (16) определить радиус частицы загрязнения $r_з$, удовлетворяющей нормативу отстаивания, установленному приказу № 126 ДВТ ГА от 1992 г.

Исходные данные: $V_T = 1{,}2$ сСт, $\rho_з = 2{,}4\ \frac{г}{см^3}$ (песок), $\rho_T = 0{,}800\ \frac{г}{см^3}$

3. Используя выражение (15) определить скорость оседания V_o для частицы загрязнения размером $r_з$=10 мкм (0,01 мм).

Исходные данные: $V_T = 1{,}2$ сСт, $\rho_з = 6{,}8\ \frac{г}{см^3}$ (оксид железа),

$$\rho_T = 0{,}800\ \frac{г}{см^3}.$$

4. По результатам задачи 3 определить изменение скорости оседания V_o частицы загрязнения при повышении температуры топлива. Учесть, что при нагреве топлива до 40°С его вязкость уменьшается до V_T =1,0 сСт, а плотность до $\rho_T = 0{,}780\ \frac{г}{см^3}$.

5. Определить размер капли воды, отстаивание которой удовлетворяет нормативу: 4 часа на 1 м взлива.

Принять $\rho_з = 1\ \frac{г}{см^3}$ (вода); $\rho_Т = 0{,}800\ \frac{г}{см^3}$; $V_T = 1{,}2$ сСт.

6. По выражению (15) определить скорость оседания V_o для частицы льда с размером $r_з$=3мм.

Принять $\rho_з = 0{,}9\ \frac{г}{см^3}$ (вода); $\rho_Т = 0{,}800\ \frac{г}{см^3}$; $V_T = 1{,}5$ сСт.

Сравнить полученное значение с нормативом скорости отстаивания: 4 часа на 1 м взлива.

4. Влияние качества топлива на надежность работы топливной системы ГТД

На рис. 2 представлена взаимосвязь физико-химических свойств топлив с процессами, происходящими в топливной системе, и их влияние на надежность ее работы.

Контрольные вопросы.

1. Причины и последствия кавитации на входе в насос-регулятор.
2. Влияние механических примесей и воды на надежность работы ГТД.
3. Причины образования смолистых осадков и их последствия для работы топливорегулирующей аппаратуры (ТРА).
4. Последствия повышенного содержания меркаптановой серы.
5. Причины коррозионного повреждения элементов ТРА.
6. Причины повышенного значения йодного числа и последствия.
7. Последствия повышенной кислотности топлива и содержания поверхностно-активных веществ.

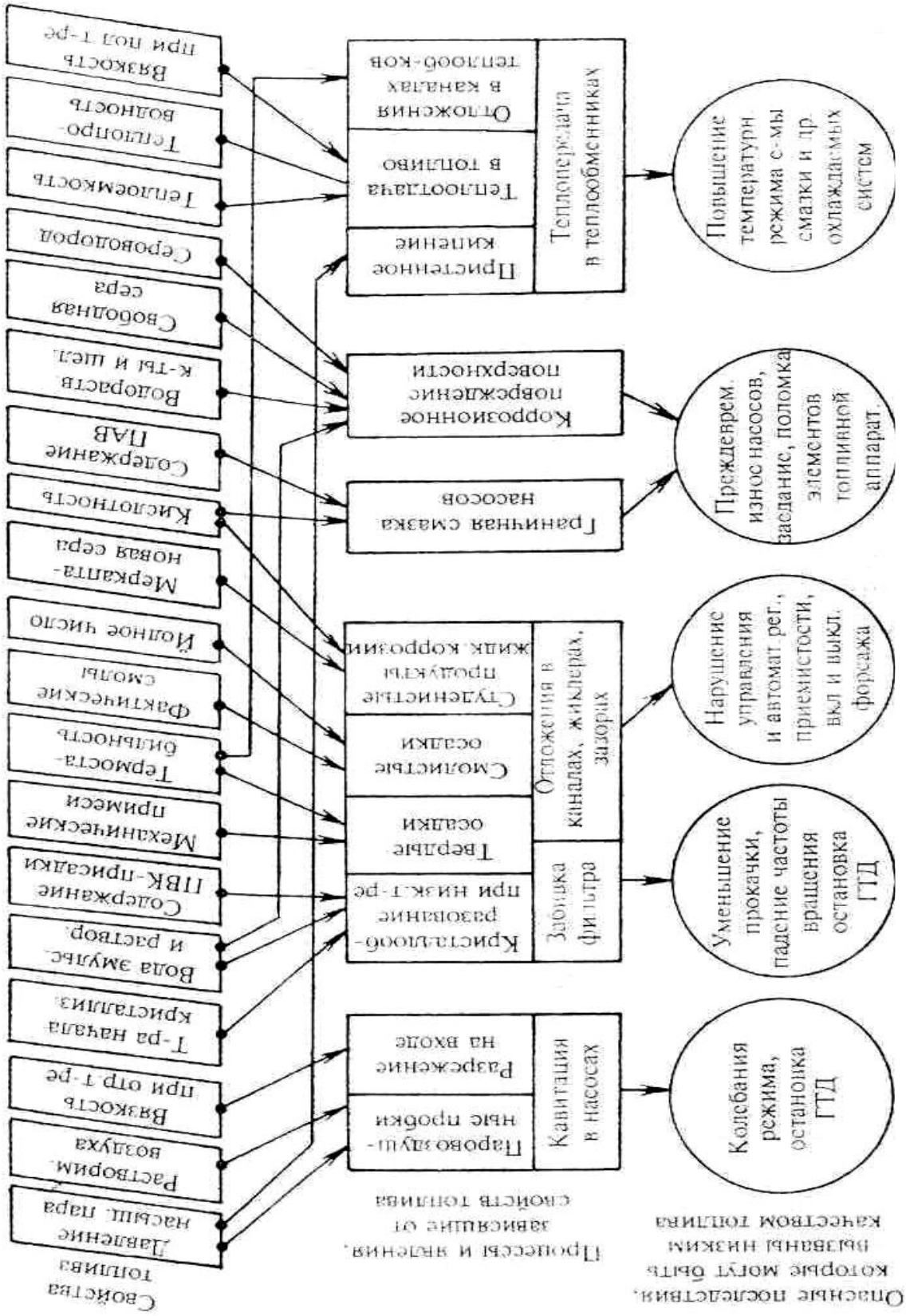

Рис. 2. Влияние свойств реактивного топлива на работоспособность и надежность системы топливопитания

5. Контроль качества топлива

Контрольные вопросы.

1. Какие показатели качества контролируются при входном и приемном контроле?
2. Какие проверки проводятся при входном и приемном контроле?
3. Показатели качества, проверяемые при складском контроле.
4. Арбитражный контроль.

6. Практические задания по изучению раздела «Моторные масла»

6.1. Расчет вязкости смеси масел

Теоретическая часть.

На практике периодически возникает необходимость смешивать масла разной вязкости для получения маслосмеси с заданным значением кинематической вязкости. Для решения этой задачи на первом этапе в лабораторных условиях приготовляют образец маслосмеси заданной кинематической вязкости из имеющихся товарных масел. При подтверждении расчетных результатов практическим измерением кинематической вязкости заливают рассчитанное количество исходных товарных масел в емкость для смешения так, чтобы компонент смеси с меньшей вязкостью оказался в нижней части мешалки, а более вязкий сверху. Перемешивают содержимое мешалки циркуляцией с помощью насоса до достижения одинаковой плотности в верхнем, среднем и нижнем слое маслосмеси в мешалке, а затем определяют вязкость маслосмеси по ГОСТ 33-2000. Процесс смешения проводят при температуре 60 – 80°С.

Количество компонентов для получения маслосмеси заданной вязкости проводят по формуле:

$$v_{см} = \frac{q_1 v_1 + q_2 v_2 - k(\Delta_{v_1 - v_2})}{q_1 + q_2} \; ; \qquad \upsilon_1 > \upsilon_2,$$

где υ_c – вязкость маслосмеси;

υ_1 q_1 – вязкость и содержание в смеси компонента А (%);

υ_2 q_2 – вязкость и содержание в смеси компонента Б (%).

Коэффициент К находят по табл. 2.

Таблица 2

	Преобладает меньшая вязкость				Преобладает большая вязкость				
	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/20	20/80	10/90
k	6,7	13,1	17,9	22,1	25,5	27,9	28,2	25	17

Практическое задание.

Рассчитайте количество компонентов 100 кг маслосмеси с заданной вязкостью: 9,0; 11,0 и 13,5 мм^2/с, если у вас есть товарные масла с вязкостью 7,5 и 20 мм^2/с.

6.2. Расчет индекса вязкости масел

Теоретическая часть.

Индекс вязкости – эмпирический безразмерный показатель для оценки зависимости вязкости масел от температуры. Чем выше численное значение индекса вязкости, тем меньше зависимость вязкости от температуры и тем более плавная ВТХ масла. Иными словами высокоиндексные масла сохраняют свою работоспособность в широком интервале температур без потерь эксплуатационных характеристик, обеспечивающих нормальное функционирование узлов трения.

Расчет индекса вязкости масел осуществляется путем определения кинематической вязкости испытуемых образцов при температурах 40 и 100°С и последующих расчетов по методикам, изложенным ниже.

Если кинематическая вязкость нефтепродуктов при 100°С ниже или равна 70 мм^2/с, значения, соответствующие *L* и *D*, определяют по табл. 3. Если значения в табл. 3 отсутствуют, но находятся в диапазоне таблицы, их рассчитывают методом линейной интерполяции.

Если кинематическая вязкость нефтепродуктов при 100°С выше 70 мм^2/с, *L* и *D* вычисляют по формулам:

$$L = 0{,}8353\,Y^2 + 14{,}67\,Y - 216; \quad (1)$$

$$D = 0{,}6669\,Y^2 + 2{,}82\,Y - 119, \quad (2)$$

где *L* – кинематическая вязкость при 40°С нефтепродукта с индексом вязкости 0, обладающего той же кинематической вязкостью при 100 °С, что и испытуемый нефтепродукт, мм^2/с;

Y –т кинематическая вязкость при 100°С нефтепродукта, индекс вязкости которого требуется определить (*D* = *L* - *H*), мм^2/с;

H – кинематическая вязкость при 40°С нефтепродукта с индексом вязкости 100, обладающего той же кинематической вязкостью при 100 °С, что и испытуемый нефтепродукт, мм^2/с.

Индекс вязкости (*VI)* нефтепродукта вычисляют по формулам:

$$VI = \frac{L-U}{L-H} \cdot 100; \quad (3)$$

$$VI = \frac{L-U}{D} \cdot 100, \quad (4)$$

где *U* – кинематическая вязкость при 40°С нефтепродукта, индекс вязкости которого требуется определить (*D* = *L* - *H*), мм^2/с.

Пример расчета *VI.*

Кинематическая вязкость нефтепродуктов при 40°С равна 73,30 мм^2/с, при 100 °С - 8,86 мм^2/с.

По табл. 3 (интерполяцией) L = 119,94; D = 50,476.

Полученные данные подставляют в формулу (4) и округляют до целого числа:

$$VI = \frac{119{,}4 - 73{,}30}{50{,}476} \cdot 100 = 92{,}40\ ;$$

$$VI = 92\ .$$

Примечание. Если результат выражен целым числом с пятью десятыми, его округляют до наиболее близкого четного числа. Например, 89,5 должно быть округлено до 90. Значения L /D/ H берут из табл. 3.

Таблица 3

Кинематическая вязкость при 100°С, мм^2/с	L	D=(L-H)	H	Кинематическая вязкость при 100°С, мм^2/с	L	D=(L-H)	H
2,00	7,994	1,600	6,394	3,30	18,18	3,971	14,21
2,10	8,640	1,746	6,894	3,40	19,12	4,196	14,93
2,20	9,309	1,898	7,410	3,50	20,09	4,428	15,66
2,30	10,00	2,056	7,944	3,60	21,08	4,665	16,42
2,40	10,71	2,219	8,496	3,70	22,09	4,909	17,19
2,50	11,45	2,390	9,063	3,80	23,13	5,157	17,97
2,60	12,21	2,567	9,647	3,90	24,19	5,415	18,77
2,70	13,00	2,748	10,25	4,00	25,32	5,756	19,56
2,80	13,80	2,937	10,87	4,10	26,50	6,129	20,37
2,90	14,63	3,132	11,50	4,20	27,75	6,546	21,21
3,00	15,49	3,334	12,15	4,30	29,07	7,017	22,05
3,10	16,36	3,540	12,82	4,40	30,48	7,560	22,92
3,20	17,26	3,753	13,51	4,50	31,96	8,156	23,81
4,60	33,52	8,806	24,71	10,7	165,8	74,42	91,40
4,70	35,13	9,499	25,63	10,8	168,5	75,86	92,65
4,80	36,79	10,22	26,57	10,9	171,2	77,33	93,92
4,90	38,50	10,97	27,53	11,0	173,9	78,75	95,19
5,00	40,23	11,74	28,49	11,1	176,6	80,20	96,45
5,10	41,99	12,53	29,46	11,2	179,4	81,65	97,71
5,20	43,76	13,32	30,43	11,3	182,1	83,13	98,97
5,30	45,53	14,13	31,40	11,4	184,9	84,63	100,2
5,40	47,31	14,94	32,37	11,5	187,6	86,10	101,5
5,50	49,09	15,75	33,34	11,6	190,4	87,61	102,8
5,60	50,87	16,55	34,32	11,7	193,3	89,18	104,1
5,70	52,64	17,36	35,29	11,8	196,2	90,75	105,4
5,80	54,42	18,16	36,26	11,9	199,0	92,30	106,7

Продолжение табл.3

Кинематическая вязкость при 100°С, мм^2/с	*L*	*D*=(*L*-*H*)	*H*	Кинематическая вязкость при 100°С, мм^2/с	*L*	*D*=(*L*-*H*)	*H*
5,90	56,20	18,97	37,23	12,0	201,9	93,87	108,0
6,00	57,97	19,78	38,19	12,1	204,8	95,47	109,4
6,10	59,74	20,57	39,17	12,2	207,8	97,07	110,7
6,20	61,52	21,38	40,15	12,3	210,7	98,66	112,0
6,30	63,32	22,19	41,13	12,4	213,6	100,3	113,3
6,40	65,18	23,03	42,14	12,5	216,6	101,9	114,7
6,50	67,12	23,94	43,18	12,6	219,6	103,6	116,0
6,60	69,16	24,92	44,24	12,7	222,6	105,3	117,4
6,70	71,29	25,96	45,33	12,8	225,7	107,0	118,7
6,80	73,48	27,04	46,44	12,9	228,8	108,7	120,1
6,90	75,72	28,21	47,51	13,0	231,9	110,4	121,5
7,00	78,00	29,43	48,57	13,1	235,0	112,1	122,9
7,10	80,25	30,63	49,61	13,2	238,1	113,8	124,2
7,20	82,39	31,70	50,69	13,3	241,2	115,6	125,6
7,30	84,53	32,74	51,78	13,4	244,3	117,3	127,0
7,40	86,66	33,79	52,88	13,5	247,4	119,0	128,4
7,50	88,85	34,87	53,98	13,6	250,6	120,8	129,8
7,60	91,04	35,94	55,09	13,7	253,8	122,6	131,2
7,70	93,20	37,01	56,20	13,8	257,0	124,4	132,6
7,80	95,43	38,12	57,31	13,9	260,1	126,2	134,0
7,90	97,72	39,27	58,45	14,0	263,3	128,0	135,4
8,00	100,0	40,40	59,60	14,1	266,6	129,8	136,8
8,10	102,3	41,57	60,74	14,2	269,8	131,6	138,2
8,20	104,6	42,72	61,89	14,3	273,0	133,5	139,6
8,30	106,9	43,85	63,05	14,4	276,3	135,3	141,0
8,40	109,2	45,01	64,18	14,5	279,6	137,2	142,4
8,50	111,5	46,19	65,32	14,6	283,0	139,1	143,9
8,60	113,9	47,40	66,48	14,7	286,4	141,1	145,3
8,70	116,2	48,57	67,64	14,8	289,7	142,9	146,8
8,80	118,5	49,75	68,79	14,9	293,0	144,8	148,2
8,90	120,9	50,96	69,94	15,0	296,5	146,8	149,7
9,00	123,3	52,20	71,10	15,1	300,0	148,8	151,2
9,10	125,7	53,40	72,27	15,2	303,4	150,8	152,6
9,20	128,0	54,61	73,42	15,3	306,9	152,8	154,1
9,30	130,4	55,84	74,57	15,4	310,3	154,8	155,6
9,40	132,8	57,10	75,73	15,5	313,9	156,9	157,0
9,50	135,3	58,36	76,91	15,6	317,5	158,9	158,6

Продолжение табл.3

Кинематическая вязкость при 100°С, мм^2/с	*L*	*D*=(*L*-*H*)	*H*	Кинематическая вязкость при 100°С, мм^2/с	*L*	*D*=(*L*-*H*)	*H*
9,60	137,7	59,60	78,08	15,7	321,1	161,0	160,1
9,70	140,1	60,87	79,27	15,8	324,6	163,0	161,6
9,80	142,7	62,22	80,46	15,9	328,3	165,2	163,1
9,90	145,2	63,54	81,67	16,0	331,9	167,3	164,6
10,0	147,7	64,86	82,87	16,1	335,5	169,4	166,1
10,1	150,3	66,22	84,08	16,2	339,2	171,5	167,7
10,2	152,9	67,56	85,30	16,3	342,9	173,7	169,2
10,3	155,4	68,90	86,51	16,4	346,6	175,8	170,7
10,4	158,0	70,25	87,72	16,5	350,3	178,1	172,3
10,5	160,6	71,63	88,95	16,6	354,1	180,3	173,8
10,6	163,2	73,00	90,19	16,7	358,0	182,5	175,4
16,8	361,7	184,7	177,0	25,8	779,7	443,0	336,7
16,9	365,6	187,0	178,6	26,0	790,4	449,8	340,5
17,0	369,4	189,2	180,2	26,2	801,6	457,2	344,4
17,1	373,3	191,5	181,7	26,4	812,8	464,4	348,4
17,2	377,1	193,8	183,3	26,6	824,1	471,8	352,3
17,3	381,0	196,1	184,9	26,8	835,5	479,1	356,4
17,4	384,9	198,4	186,5	27,0	847,0	486,6	360,5
17,5	388,9	200,8	188,1	27,2	857,5	492,9	364,6
17,6	392,7	203,0	189,7	27,4	869,0	500,6	368,3
17,7	396,7	205,3	191,3	27,6	880,6	508,3	372,3
17,8	400,7	207,7	192,9	27,8	892,3	515,9	376,4
17,9	404,6	210,0	194,6	28,0	904,1	523,5	380,6
18,0	408,6	212,4	196,2	28,2	915,8	531,2	384,6
18,1	412,6	214,8	197,8	28,4	927,6	538,8	388,8
18,2	416,7	217,3	199,4	28,6	938,6	545,7	393,0
18,3	420,7	219,7	201,0	28,8	951,2	554,5	396,6
18,4	424,9	222,2	202,6	29,0	963,4	562,3	401,1
18,5	429,0	224,7	204,3	29,2	975,4	570,1	405,3
18,6	433,2	227,2	205,9	29,4	987,1	577,6	409,5
18,7	437,3	229,7	207,6	29,6	998,9	585,3	413,5
18,8	441,5	232,3	209,3	29,8	1011	593,4	417,6
18,9	445,7	234,7	211,0	30,0	1023	601,6	421,7
19,0	449,9	237,3	212,7	30,5	1055	622,3	432,4
19,1	454,2	239,8	214,4	31,0	1086	643,2	443,2
19,2	458,4	242,3	216,1	31,5	1119	664,5	454,0
19,3	462,7	245,0	217,7	32,0	1151	686,0	464,9

Продолжение табл.3

Кинематическая вязкость при 100°С, мм^2/с	*L*	*D*=(*L*-*H*)	*H*	Кинематическая вязкость при 100°С, мм^2/с	*L*	*D*=(*L*-*H*)	*H*
19,4	467,0	247,6	219,4	32,5	1184	708,0	475,9
19,5	471,3	250,2	221,7	33,0	1217	730,2	487,0
19,6	475,7	252,9	222,8	33,5	1251	752,8	498,1
19,7	479,7	255,2	224,5	34,0	1286	776,8	509,6
19,8	483,0	257,8	226,2	34,5	1321	799,9	521,1
19,9	488,6	260,9	227,7	35,0	1356	823,4	532,5
20,0	493,2	263,7	229,5	35,5	1391	847,2	544,0
20,2	501,5	268,5	233,0	36,0	1427	871,2	555,6
20,4	510,8	274,4	236,4	36,5	1464	896,5	567,1
20,6	519,9	279,8	240,1	37,0	1501	921,8	579,3
20,8	528,8	285,3	243,5	37,5	1538	946,8	591,3
21,0	538,4	291,3	247,1	38,0	1575	972,3	603,1
21,2	547,5	296,8	250,7	38,5	1613	998,3	615,0
21,4	556,7	302,6	254,2	39,0	1651	1024	627,1
21,6	566,4	308,6	257,8	39,5	1691	1052	639,2
21,8	575,6	314,1	261,5	40,0	1730	1079	651,8
22,0	585,2	320,2	264,9	40,5	1770	1106	664,2
22,2	595,0	326,4	268,6	41,0	1810	1133	676,6
22,4	604,3	332,0	272,3	41,5	1851	1162	689,1
22,6	614,2	338,4	275,8	42,0	1892	1191	701,9
22,8	624,1	344,5	279,6	42,5	1935	1220	714,9
23,0	633,6	350,3	283,3	43,0	1978	1250	728,2
23,2	643,4	356,6	286,8	43,5	2021	1280	741,3
23,4	653,8	363,3	290,5	44,0	2064	1310	754,4
23,6	663,3	369,0	294,4	44,5	2108	1340	767,6
23,8	673,7	375,7	297,9	45,0	2152	1371	780,9
24,0	683,9	382,1	301,8	45,5	2197	1403	794,5
24,2	694,5	388,9	305,6	46,0	2243	1434	808,2
24,4	704,2	394,8	309,4	46,5	2288	1466	821,9
24,6	714,9	401,9	313,0	47,0	2333	1498	835,5
24,8	725,7	408,8	317,0	47,5	2380	1530	849,2
25,0	736,5	415,6	320,9	48,0	2426	1563	863,0
25,2	747,2	422,4	324,9	48,5	2473	1596	876,9
25,4	758,2	429,5	328,8	49,0	2521	1630	890,9
25,6	769,3	436,6	332,7	49,5	2570	1665	905,3
50,0	2618	1699	919,6	60,5	3734	2496	1238
50,5	2667	1733	933,6	61,0	3792	2538	1254

Окончание табл.3

Кинематическая вязкость при 100°С, мм^2/с	*L*	*D*=(*L*-*H*)	*H*	Кинематическая вязкость при 100°С, мм^2/с	*L*	*D*=(*L*-*H*)	*H*
51,0	2717	1769	948,2	61,5	3850	2579	1270
51,5	2767	1804	962,9	62,0	3908	2621	1286
52,0	2817	1839	977,5	62,5	3966	2664	1303
52,5	2867	1875	992,1	63,0	4026	2707	1319
53,0	2918	1911	1007	63,5	4087	2751	1336
53,5	2969	1947	1021	64,0	4147	2795	1352
54,0	3020	1984	1036	64,5	4207	2858	1369
54,5	3073	2022	1051	65,0	4268	2382	1386
55,0	3126	2060	1066	65,5	4329	2927	1402
55,5	3180	2098	1082	66,0	4392	2973	1419
56,0	3233	2136	1097	66,5	4455	3018	1436
56,5	3286	2174	1112	67,0	4517	3064	1454
57,0	3340	2213	1127	67,5	4580	3110	1471
57,5	3396	2253	1143	68,0	4645	3157	1488
58,0	3452	2293	1159	68,5	4709	3204	1506
58,5	3507	2332	1175	69,0	4773	3250	1523
59,0	3563	2372	1190	69,5	4839	3298	1541
59,5	3619	2413	1206	70,0	4905	3346	1558
60,0	3676	2454	1222				

В случае если ИВ выше 100, то расчет ИВ проводят следующим образом: индекс вязкости *VI* вычисляют по формулам:

$$VI = \{[(\text{anti}\log N) - 1]/0{,}00715\} + 100\ ; \qquad (5)$$

$$N = (\log H - \log U)/\log Y\ , \qquad (6)$$

где *U* и *Y* – кинематические вязкости при 40°С и 100°С соответственно для испытуемых нефтепродуктов;

H - кинематическая вязкость при 40°С нефтепродукта с индексом вязкости 100, обладающего той же кинематической вязкостью при 100°С, что и испытуемый нефтепродукт. Значение *H* определяют по таблице 3. Если кинематическая вязкость нефтепродукта при 100°С выше 70 мм^2/с, *H* вычисляют по формуле:

$$H = 0{,}1684\,Y^2 + 11{,}85\,Y - 97\,. \qquad (7)$$

Примеры расчета *VI.*

1. Кинематическая вязкость нефтепродукта при 40°С равна 22,83 мм^2/с, при 100°С - 5,05 мм^2/с.

По табл. 3 (интерполяцией) H = 28,97, полученные данные подставляют в формулу (6):

$$N = \frac{\log\ 28{,}97 - \log\ 22{,}83}{\log\ 5{,}05} = 0{,}14708\ .$$

Полученное значение подставляют в формулу (5) и округляют до целого числа:

$$VI = \frac{(\text{anti}\log\ 0{,}14708) - 1}{0{,}00715} + 100 = \frac{1{,}40307 - 1}{0{,}00715} + 100 = 156{,}37\ ;$$

$$VI = 156\ .$$

2. Кинематическая вязкость нефтепродукта при 40°С равна 53,47 мм^2/с, при 100°С - 7,80 мм^2/с.

По табл. 3: H = 57,31.

Полученные данные подставляют в формулу (6):

$$N = \frac{\log\ 57{,}31 - \log\ 53{,}47}{\log\ 7{,}80} = 0{,}03376\ .$$

Полученные значения подставляют в формулу (5) и округляют до целого числа:

$$VI = \frac{(\text{anti}\log\ 0{,}03376) - 1}{0{,}00715} + 100 = \frac{1{,}08084}{0{,}00715} + 100 = 111{,}31\ ;$$

$$VI = 111\ .$$

Примечание. Если результат выражен целым числом с пятью десятыми, его округляют до наиболее близкого четного числа. Например, 115,5 должно быть округлено до 116.

Практическое задание.

Рассчитайте значение индексов вязкости следующих масел:

- масло А – измеренная вязкость при 40°С – 15,8 мм^2/с;
  при 100°С – 8,3 мм^2/с;
- масло Б – измеренная вязкость при 40°С – 22,1 мм^2/с;
  при 100°С – 17,4 мм^2/с.

6.3. Подбор вязкости масла для подшипника скольжения, обеспечивающей гидродинамический режим трения

Теоретическая часть.

На установившемся режиме работы двигателя при большом числе оборотов обеспечивается гидродинамический (жидкостный) режим смазки. В период запуска и остановки двигателя подшипники работают в режиме граничной смазки.

При высокой скорости вращения вала масло, поступающее под избыточным давлением в зазоры узла трения, затягивается вращающимся валом и образует масляный клин, в результате чего возникает гидродинамическое давление на подшипник.

Давление возникает, как реакция вязкой жидкости при выдавливании ее из зазора между трущимися поверхностями. В таких условиях вал «всплывает» на слое смазки под действием подъемной силы (несущей силы).

Гидродинамическое давление называют несущей способностью масляного слоя. Величина этого давления может достигать огромной величины (выше 100 МПа) и практически не зависит от давления масла на входе в подшипник. Распределение гидродинамического давления в масляном слое зависит от геометрических размеров подшипника, числа оборотов вала, нормального давления на подшипник, динамической вязкости масла.

Главным показателем, определяемым гидравлическим расчетом, является минимальная толщина масляного слоя h_{min}, обеспечивающая гидродинамический режим смазки, h_{min} определяют по средней удельной нагрузке на подшипник – q и характеристике рабочего режима смазки λ:

$$q = \frac{P_{ср}}{dl}\ , \text{ кг/см}^2; \quad \lambda = \frac{\eta n}{q}\ , \quad \frac{\text{сП} \cdot \text{об/мин}}{\text{кг/см}^2},$$

где Pср – средняя нагрузка на подшипник, кг;

d – диаметр вала, см;

l – длина подшипника, см;

η – абсолютная вязкость масла, СП;

n – число оборотов вала в минуту.

Минимальную толщину масляного слоя рассчитывают по формуле:

$$H_{min} = 55 * 10^{-8} * \lambda * \frac{d^2}{\Delta\sigma},$$

где σ – поправка на конечную длину подшипника.

σ = 1 + d/l – минимальная толщина масляного слоя для обеспечения высокой надежности гидродинамической смазки h_{min} составляет 6-8 мкм, а при толщине слоя менее 3 мкм при шероховатостях трущихся рабочих поверхностей соответствующих 8 классу чистоты обработки коэффициент надежности становится критическим.

Практическое задание.

Рассчитайте h_{min} узла трения при следующих параметрах: вязкость η – 1000 и 10 000 сп; Pср – 1000 кг; d = 8 см; l = 50 см; q=100 кг/см; n=1000 об/мин и оцените надежность смазки.

6.4. Расчет нагрева масла в подшипнике

Теоретическая часть.

Степень нагрева масла в подшипнике Δt зависит от количества тепла, выделившегося в процессе трения и количества масла, циркулирующего через подшипник:

$$\Delta t = \frac{1000Q\text{тр}}{\gamma_{\text{м}}\text{См}G\text{м}} \quad ,°\text{C} ,$$

где Qтр – количество выделившегося тепла, ккал/с;

$\gamma_м$ – плотность масла, г/см^3;

$C_м$ – теплоемкость масла, ккал/кг град;

$G_м$ – расход масла через подшипник, см^3/с.

$$Q\text{тр} = \frac{fUP\text{ср}}{427}, \text{ ккал/с},$$

где Pср – средняя нагрузка на подшипник за рабочий цикл, кг;

f – полный коэффициент трения;

U – окружная скорость вращения вала, м/с.

$$U = \frac{\pi d n_N}{60},$$

где d – диаметр вала, м;

n_N – номинальное число оборотов в минуту.

Полный коэффициент трения зависит от геометрических параметров и характеристики рабочего режима подшипника:

$$f = 3.36 * 10^{-9} * \frac{d}{\Delta}\lambda + 0.55(\frac{d}{l})^{2.5} * \frac{\Delta}{d},$$

где d, L, Δ в мм.

Величина f при благоприятных условиях равна 0,002 – 0,004.

Расход масла через подшипник рассчитывается по формуле:

$$G = 0.8\frac{d^{0.8}\Delta^{2.2}\sigma^{0.6}\text{n}_\text{N}}{\lambda^{0.6}} + 2.5 * 10^6 * \frac{\Delta^{3.4} * \text{Pm} * \sigma^{1.2}}{d^{0.4} * \eta_{\text{СП}} * \lambda^{0,2}}, \text{ см}^3/\text{с},$$

где P_m – давление подачи масла в подшипник, кг/см^2, обычно P_m = 0,9 P (давление масла в магистрали).

Тепловое состояние подшипника характеризуют средней температурой масла:

$$t_{\text{м.ср}} = \frac{t_{\text{м.вх}} + t_{\text{м.вых}}}{2},$$

где $t_{м.вх}$ и $t_{м.вых}$ – температуры масла, поступающего в подшипник и вытекающего из него.

На режиме максимальной мощности $t_{мах}$ =80-90°С температура подогрева масла в подшипнике не превышает 20-30°С, $t_{м.вых}$ =90-110°С.

Основное количество масла подводимого к подшипнику, вытекает через зазоры в ненагруженной части, поэтому подшипник охлаждается неравномерно. Нагруженная область охлаждается менее интенсивно вследствие большого выделения теплоты и меньшего расхода масла.

С повышением температуры вязкость масла уменьшается, расход масла через подшипник увеличивается и несущая способность слоя масла снижается.

С увеличением частоты вращения вала температура масла, вытекающего из подшипника, возрастает. При повышении среднего эффективного давления температура масла растет незначительно в соответствии с относительно малым возрастанием в подшипниках потерь на трение.

Практическое задание.

Определить разогрев масла в подшипнике при следующих параметрах его работы: $t_{м.вх}$= 50°С; $t_{м.вых}$= 100°С; d=80 мм; n_N= 1200 об/мин.

Литература

1. Коняев Е.А., Немчиков М.Л., Голубева М.Г. Химмотология реактивных топлив. – М.: МГТУ ГА, 2009.
2. Коняев Е.А., Немчиков М.Л. Химмотология авиационных масел и гидравлических жидкостей. – М.: МГТУ ГА, 2008.

Содержание

1. Общие положения…… 3
1.1. Цель практических занятий……..…….. 3
2. Химмотологический анализ топливной системы ВС и авиационного ГТД……..... 3
2.1. Анализ топливной системы ВС…….. 3
2.2. Анализ топливной системы авиационного ГТД…….. 3
3. Определение количественных показателей качества авиационных топлив……. 5
3.1. Плотность топлива…….. 5
3.2. Теплота сгорания авиационных топлив…… 6
3.3. Энергоемкость (удельная объемная теплота сгорания)…... 8
3.4. Отстаиваемость топлив……... 9
4. Влияние качества топлива на надежность работы топливной системы ГТД…….. 11
5. Контроль качества топлива……. 12
6. Практические задания по изучению раздела «Моторные масла»……. 12
6.1. Расчет вязкости смеси масел…….. 13
6.2. Расчет индекса вязкости масел……... 14
6.3. Подбор вязкости масла для подшипника скольжения, обеспечивающей гидродинамический режим трения…….. 20
6.4. Расчет нагрева масла в подшипнике……. 22
Литература……. 23