05.11.13

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ АВИАЦИОННОГО МАСЛА

М.А. Плахотникова, Н.А. Лысянникова, Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Представлены экспериментальные данные показателей термоокислительной стабильности включающие: оптическую плотность, испаряемость, коэффициент термоокислительной стабильности, потенциальный ресурс, температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований, протекающие в смазочном масле и критические температуры этих процессов. Представлена графическая модель прогнозирования показателей термоокислительной стабильности для широкого диапазона температур на основании результатов испытания, полученных при трех температурах.

Ключевые слова: авиационное масло, термоокислительная стабильность, оптическая плотность, испаряемость, потенциальный ресурс

ВВЕДЕНИЕ

Основные узлы трения поршневых авиационных двигателей являются самыми напряженными из всех типов двигателей внутреннего сгорания, так как основная часть масла идет на смазку большой площади высоконагруженных узлов трения скольжения. В поршневом двигателе масло выполняет функцию уплотнителя между камерой сгорания и картером двигателя, кроме того масло соприкасается с высокотемпературной зоной цилиндропоршневой группы (200-300 °С), поэтому авиационное масло не должно менять своих характеристик при росте температуры и быть не восприимчивым к окислению. Авиационное смазочное масло является важным составляющим элементом поршневого авиационного двигателя, от качества которого, зависит его работоспособность. При проверке смазочного масла на качество, одним из главных показателей является термоокислительная стабильность, так как в двигателе масло попадает в различные температурные условия и в среднем температура колеблется от 100 до 280 °С, а в камере сгорания температура может достигать до 2500 °С [1]. На сегодняшний день поиск наиболее эффективных методов для оценки термоокислительной является актуальной задачей. Целью работы является исследование термоокислительной стабильности авиационного масла для поршневых авиационных двигателей.

В работе предложен метод термостатирования, с помощью которого масло исследовалось при разных температурах. Методика проведения испытания заключалась в исследовании масла с использованием таких приборов и средств измерения как прибор для определения термоокислительной стабильности, фотометрическое устройство и электронные весы [3,4].

В качестве объекта исследования применялось всесезонное полусинтетическое авиационное масло

для четырехтактных поршневых двигателей AeroShell Oil 15W-50 [2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Методика исследования состоит из подготовительного и основного этапов испытания. Подготовительный этап заключается в следующем. Стекланный стакан с навеской масла массой 100 гр. устанавливается в устройство для термостатирования. Температуры испытания составляют 160, 170 и 180 °С и при каждой температуре используется свежий образец исследуемого масла. Равномерный нагрев по всему объёму обеспечивает стеклянная мешалка, скорость вращения которой составляет 300 об/мин.

Основной этап заключается в следующем. Через каждые 8 часов при соответствующей температуре отбиралась проба масла для проведения анализа. С помощью весов определялась масса испарившегося масла и на фотометре определялась оптическая плотность по формуле (1). Исследование масла проводилось через равные промежутки времени (по 8 часов): 8, 16, 24, 32 и т.д. пока оптическая плотность не будет равна $D=0.8$.

$$D = \lg(300/P), \quad (1)$$

где D – оптическая плотность; 300 – показания фотометра при отсутствии масла в кювете, мкА; P – показания фотометра при заполненной кювете окисленным маслом, мкА.

По окончании экспериментальной части, по полученным результатам строим графические зависимости.

На рис. 1 представлена зависимость - оптической плотности от времени $D=f(t)$. Графическую зависимость температур 160, 170 и 180 °С описываем полиномом второго порядка. Уравнения регрессии для этих температур следующие:

$$180\text{ }^{\circ}\text{C } D = 6.64 \cdot 10^{-4} t^2 - 0.02 t + 0.174 \quad (2)$$

$$170\text{ }^{\circ}\text{C} \quad D=1.3 \cdot 10^{-4}t^2-0.0045t+0.073 \quad (3)$$

$$160\text{ }^{\circ}\text{C} \quad D=4.216 \cdot 10^{-5}t^2-6.126 \cdot 10^{-4}t+0.014 \quad (4)$$

где D – оптическая плотность, t – время испытания, ч.

По графической зависимости наблюдается, что с увеличением температуры нагрева происходит увеличение оптической плотности, со $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ (3) до $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2) оптическая плотность увеличилась на 60%, а со $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2) до $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1) увеличение составило 96%.

Рис. 1. Зависимость $D(t)$ при температурах испытания $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1), $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2) и $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ (3)

Следующим этапом определяется потенциальный ресурс исследуемого масла. Строится графическая зависимость $\lg t P_{\Pi} = f(T)$ (рис. 2), для построения которой берется значение оптической плотности $D=0.8$ при каждой температуре испытания с графика (рис. 1). Потенциальный ресурс P_{Π} исследуемого масла составил при $180\text{ }^{\circ}\text{C}=50$ ч., $170\text{ }^{\circ}\text{C}=94$ ч. и $160=144$ ч.

Рис. 2. Зависимость десятичного логарифма времени достижения оптической плотности значения $D=0.8$ от температуры испытания

По данной графической зависимости (рис. 2) определяется критическая температура потенциального ресурса, которая является точкой пересечения линии графика с осью абсцисс температуры T и составляет $T=255\text{ }^{\circ}\text{C}$. Графическая зависимость описывается линейной функцией и имеет следующее регрессионное уравнение:

$$\lg t P_{\Pi} = -0.023T + 5.863 \quad (5)$$

где P_{Π} – потенциальный ресурс, T – температура, $^{\circ}\text{C}$.

Чтобы определить оптическую плотность при допустимой температуре, необходимо воспользоваться формулой (5), подставив соответствующее значение. Например, $T=190\text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда $\lg t P_{\Pi} = -0.023 \cdot 190 + 5.863 = 1.21$. От полученного значения 1.21 берется десятичный антилогарифм, значение которого показывает, что через 16 часов при температуре $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ оптическая плотность составит $D=0.8$.

На рис. 3 представлена графическая зависимость $D=f(T)$ после 30 часов термостатирования.

Рис. 3. Зависимость $D(T)$ после 30 часов испытания

По графику зависимости $D=f(t)$ определяется температура начала окисления исследуемого масла. Определяется она точкой пересечения графика зависимости $D=f(T)$ с осью абсцисс температуры T и составляет $T=157\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Графическая зависимость на рис. 3 описывается линейной функцией и имеет следующее уравнение регрессии:

$$D = 0.0063T - 0.98 \quad (6)$$

где D – оптическая плотность, T – температура испытания, $^{\circ}\text{C}$.

Формула (6) позволяет определить температуру окисления масла при любой допустимой оптической плотности. Таким образом, например при $D=0.6$, температура окисления будет составлять $T=250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рис. 4 представлена графическая зависимость испаряемости образца масла от времени испытания $G=f(t)$.

Рис. 4. Зависимость $G(t)$ при температурах испытания 180 °C (1), 170 °C (2) и 160 °C (3)

Графическая зависимость температур 180, 170 и 160 °C описывается полиномом второго порядка. Регрессионные уравнения для этих температур следующие:

$$180\text{ °C } G = 0,1787 t^{0,8}, \quad (7)$$

$$170\text{ °C } G = 0,103 t^{0,8}, \quad (8)$$

$$160\text{ °C } G = 0,159 t^{0,7}, \quad (9)$$

где G — испаряемость, г, t — время испытания, ч.

По графику (рис. 4) наблюдается, что с увеличением времени испытания, испаряемость исследуемого масла увеличивается, а с увеличением температуры испытания масла (после 58 часов испытания) со 160 °C (3) до 170 °C (2) испарение увеличилось на 16 %, а со 170 °C (2) до 180 °C (1) на 28 %.

По графику на рис.4 определяется время испарения 2-х граммов исследуемого масла при каждой исследуемой температуре и строится графическая зависимость десятичного логарифма времени испарения двух граммов масла от температуры окисления $lgt_G = f(T)$ (рис.5). Графическая зависимость описывается линейной функцией:

$$lgt_G = -0,0125 T + 3,612, \quad (10)$$

где T — температура испытания, °C.

С помощью данной формулы (10) можно вычислить время испарения при определенной температуре двух граммов исследуемого масла. Например, при $T=190$ °C, $lgt_G = 1,237$, далее вычисляется антилогарифм и получается 17 часов, т.е время испарения двух граммов масла при 190 °C.

Рис. 5. Зависимость lgt_G от температуры испытания T

Так же по данной графической зависимости (рис.5) определяем критическую температуру исследуемого масла, по пересечению графика с осью абсцисс температуры испытания, которая составляет $T = 288$ °C.

На рис. 6 представлена графическая зависимость — коэффициента термоокислительной стабильности $\Pi_{ТОС}$ от времени испытания $\Pi_{ТОС}=f(t)$.

Графическая зависимость температур 180, 170 и 160 °C описываем полиномиальной функцией второго порядка. Регрессионные уравнения имеют следующий вид:

$$180\text{ °C } \Pi_{ТОС} = 3,051 \cdot 10^{-8} t^4 + 3,961 \cdot 10^{-6} t^3 + 8,007 \cdot 10^{-5} t^2 - 0,002 t + 0,053 \quad (11)$$

$$170\text{ °C } \Pi_{ТОС} = 1,297 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,004 t + 0,0774 \quad (12)$$

$$160\text{ °C } \Pi_{ТОС} = 4,207 \cdot 10^{-5} t^2 - 6,239 \cdot 10^{-4} t + 0,018 \quad (13)$$

где $\Pi_{ТОС}$ — коэффициент термоокислительной стабильности.

Рис. 6. Зависимость $\Pi_{ТОС}(t)$ при температурах испытания 180 °C (1), 170 °C (2) и 160 °C (3)

Далее определяется температура начала процессов преобразования исследуемого масла по графической зависимости $\Pi_{ТОС} = f(T)$ (рис. 7), при построении которой берется значение времени испытания равного

$t=30$ часам, при каждой температуре испытания с графика (рис. 6). В этом случае, коэффициент термоокислительной стабильности $P_{ТОС}$ при температурах 180 °С, 170 °С и 160 °С соответственно составляет 0.172, 0.056 и 0.037. Графическая зависимость описывается линейной функцией:

$$P_{ТОС} = 0.006 \cdot T - 0.977, \quad (14)$$

где $P_{ТОС}$ – коэффициент термоокислительной стабильности, T – температура испытания, °С.

Таким образом, по точке пересечения графика с осью абсцисс температур определяется температура начала процессов преобразования, которая составляет $T = 156$ °С.

Рис. 7. Зависимость $P_{ТОС}(T)$ после 30 часов термостагирования

На рис. 8 представлена графическая зависимость десятичного логарифма времени достижения коэффициента термоокислительной стабильности $lgt_{P_{ТОС}} = f(T)$ при коэффициенте $P_{ТОС} = 0.05$, по которой определяется критическая температура преобразований, протекающих в исследуемом масле.

Рис. 8. Зависимость $lgt_{P_{ТОС}}$ от температуры испытания

Данная зависимость описывается линейной функцией:

$$lgt_{P_{ТОС}} = -0.016 T + 4.141, \quad (15)$$

где $lgt_{P_{ТОС}}$ – логарифмическое значение коэффициента термоокислительной стабильности, T – температура испытания, °С.

Воспользовавшись формулой (15) для вычисления десятичного логарифма времени достижения коэффициента термоокислительной стабильности и от полученного значения взяв десятичный антилогарифм, устанавливается время испытания до значения $P_{ТОС} = 0.05$. Например, при температуре испытания 190 °С, десятичный логарифм равен 1.101, а время испытания составляет 12 часов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований установлено, что предложенный метод по температурным параметрам позволяет определить температурную область использования исследуемого авиационного масла. При исследовании установлены данные о температурах начала процессов окисления и температурных преобразованиях, критические температуры этих процессов и потенциальном ресурсе, которые позволят сравнить смазочные материалы одного назначения и обоснованно выбирать более термостойкие. Таким образом, в перспективе, применение метода термостагирования позволит охарактеризовать состояние исследуемых масел по основным температурным параметрам работоспособности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Файзулин Р.Р. Химмотология авиационных горюче-смазочных материалов: учеб. пособие [Текст] / А.Н. Приваленко. - Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2013. - 183с.
2. SAE J-1899. Lubricating Oil, Aircraft Piston Engine (Ashless Dispersant). 2000-06-01.
3. Ковальский Б.И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б.И. Ковальский – Новосибирск: Наука, 2005. – 341 с.
4. Патент № 2695704 РФ МПК G01N33/30. Способ прогнозирования показателей термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б.И. Ковальский, О.Н. Петров, В.Г. Шрам, Н.Н. Лысянникова. Оpubл. 25.07.2019. Бюл. № 21.

Плахотникова Марина Анатольевна - аспирант кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», институт «Нефти и газа» тел. +7(950)9807004, e-mail: plaxmarina@yandex.ru.

Лысянникова Наталья Николаевна – к.т.н. доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», институт «Нефти и газа» тел. +7(913)1905779, e-mail: nataly.nm@mail.ru.

Ковальский Болеслав Иванович – д-р техн. наук, профессор кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», институт «Нефти и газа» тел. +7(983) 6120648, e-mail: Labsm@mail.ru.

Безбородов Юрий Николаевич – д-р техн. наук, профессор кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», институт «Нефти и газа» тел. +7(902)9820488, e-mail: Labsm@mail.ru.

RESULTS OF STUDYING TEMPERATURE PARAMETERS OF AVIATION OIL

M.A. Plakhotnikova, N.A. Lysyannikova, B.I. Kovalsky, Yu.N. Bezborodov
Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Experimental data on the indicators of thermal-oxidative stability are presented, including: optical density, volatility, coefficient of thermal-oxidative stability, potential resource, temperatures of the onset of oxidation, evaporation and temperature transformations occurring in the lubricating oil and critical temperatures of these processes. A graphical model for predicting the indicators of thermal-oxidative stability for a wide range of temperatures based on the test results obtained at three temperatures is presented.

Key words: aviation oil, thermal-oxidative stability, optical density, volatility, potential resource

REFERENCES

1. Fayzulin RR. Chemmotology of aviation fuels and lubricants: textbook. manual [Text]/ A. N. Privalenko.- Ulyanovsk: UVAU GA (I), 2013-183с.
2. SAE J-1899. Lubricating Oil, Aircraft Piston Engine (Ashless Dispersant). 2000-06-01.
3. Kovalsky BI. Methods and means of improving the efficiency of the use of lubricants / B. I. Kovalsky - Novosibirsk, 2005. - 341 p.
4. Kovalsky BI, Petrov ON, Shram VG, Lysyannikova NN (2019) Method for predicting the indicators of thermo-oxidative stability of lubricants. RU Patent 2,695,704, 25.Jul 2019.

Plakhotnikova Marina Anatolyevna-Post-graduate student of the Department of Fuel Supply of Fuels and Lubricants, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas tel. +7 (950)9807004, e-mail: plaxmarina@yandex.ru.

Lysyannikova Natalia Nikolaevna. -Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Fuel Supply of Fuels and Lubricants, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas tel. +7 (913)1905779, e-mail: nataly.nm@yandex.ru

Kovalsky Boleslav Ivanovich-Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Fuel Supply and Fuel and Lubricants, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas tel. +7 (983) 6120648, e-mail: Labsm@mail.ru.

Bezborodov Yuri Nikolaevich-Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Fuel Supply and Fuel and Lubricants, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas tel. +7 (902)9820488, e-mail: Labsm@mail.ru.