

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ

Б.И. Ковальский, В.И. Верещагин, В.Г. Шрам, Е.Г. Кравцова, О.Н. Петров
Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа, г. Красноярск

Одним из основных показателей температурных пределов работоспособности смазочных масел является термоокислительная стабильность. В качестве показателей термоокислительной стабильности температуры входят показатели окисления и испарения смазочных материалов. Недостатком известных исследований является отсутствие информации о количестве тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления и испарения и влияние её на предельно допустимые показатели качества смазочных материалов. Целью исследований является повышение информативности контроля работоспособности смазочных материалов за счёт учета тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления и испарения и влияние её на предельно допустимые показатели работоспособности. В работе представлены результаты определения предельно допустимых показателей работоспособности минерального моторного масла MOBIL Super 1000 15W-40 SL/CF, путём термостагирования в диапазоне температур от 150 до 180 °С в циклах повышения и понижения, измерения оптической плотности, испаряемости, коэффициента термоокислительной стабильности и количества поглощённой тепловой энергии. По экспериментальным данным оптической плотности, испаряемости и коэффициенту термоокислительной стабильности вычислялись значения тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления, испарения и температуры преобразований, учитывающих процессы окисления и испарения. Показано, что применение предлагаемой методики циклического изменения температуры испытания позволяет определить температуры начала процессов окисления и испарения, критические температуры этих процессов и предельно допустимую температуру исследуемого смазочного материала. Предлагаемое техническое решение позволяет расширить информацию о предельно допустимых показателях термоокислительной стабильности смазочных материалов в широком диапазоне температур, сравнивать смазочные материалы одного назначения.

Ключевые слова: термостагирование, оптическая плотность, испаряемость, коэффициент термоокислительной стабильности, предельно допустимая температура.

ВВЕДЕНИЕ

Основным показателем температурных пределов работоспособности смазочных материалов является температура вспышки, которая приводится в справочной литературе [1] или паспорте качества нефтепродукта. В работах [2-9] в качестве показателей термоокислительной стабильности предполагаются температуры начала процессов окисления и испарения и критическая температура работоспособности смазочных материалов. В работе [10] смазочные материалы испытывают в циклах повышения и понижения температуры испытания, причём по его уравнениям зависимостей показателя термоокислительной стабильности определяют температуру начала процессов преобразования в испытуемом смазочном материале в цикле повышения температуры испытания с учётом процессов окисления и испарения и критическую температуру в цикле понижения температуры испытания. По координате абсцисс пересечения данных зависимостей определяют предельно допустимую температуру работоспособности. Значения этих показателей используют в качестве параметров термоокислительной стабильности, причём по уравнениям зависимостей оптической плотности и испаряемости в циклах повышения

температуры испытания определяют температуры начала процессов окисления и испарения, а в циклах понижения температуры определяют критические температуры окисления и испарения. По координатам абсцисс пересечения этих зависимостей определяют предельно допустимые температуры процессов окисления и испарения исследуемого смазочного материала.

Недостатком известных исследований является отсутствие информации о количестве тепловой энергии [11-13], поглощённой продуктами окисления и испарения и влияние её на предельно допустимые показатели качества смазочных материалов. Поэтому целью настоящих исследований является повышение информативности контроля работоспособности смазочных материалов за счёт учета тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления и испарения и влияние её на предельно допустимые показатели работоспособности.

Для исследования выбрано минеральное всесезонное универсальное моторное масло MOBIL Super 1000 15W-40 SL/CF. В качестве средств контроля и испытания применяли прибор для термостагирования, фотометрическое устройство и электронные весы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Пробу смазочного материала постоянной массы 100 г помещают в прибор для термостатирования и термостатируют последовательно при температурах, 150, 160, 170 и 180 °С в цикле повышения температуры в течение постоянного времени, 8 часов при каждой температуре. При термостатировании проба смазочного материала перемешивается с помощью механической мешалки с постоянной частотой вращения. После каждой температуры проба окисленного смазочного материала взвешивается, определяется масса испарившегося масла и коэффициент испаряемости K_G :

$$K_G = \frac{m}{M} \quad (1)$$

где m – масса испарившейся пробы, M – масса пробы до испытания, г.

Отбирается часть пробы окисленного масла для фотометрирования и определения оптической плотности D

$$D = \frac{\varphi}{\varphi_0} \quad (2)$$

где φ – световой поток, прошедший через кювету без смазочного материала, мкА; φ_0 – световой поток, прошедший через кювету заполненной окисленным смазочным материалом, мкА.

После анализа проба окисленного смазочного материала испытывается при температуре на 10 °С выше по той же технологии.

Новая проба исследуемого смазочного материала испытывается в цикле понижения температуры от 180 до 150 °С по той же технологии и времени термостатирования. По полученным экспериментальным данным оптической плотности и испаряемости вычисляется коэффициент термоокислительной стабильности $\Pi_{\text{ТОС}}$, как сумма

$$\Pi_{\text{ТОС}} = D + K_G, \quad (3)$$

Результаты испытаний представлены в табл. 1

Табл. 1. Результаты испытаний

T, °C	t, ч	lg t	D	lg Q _D	K _G	lg Q _G	Π _{ТОС}	lg Q _{ΠТОС}
150	8	0,9	0	0	0,0 05	0,77 8	0,00 5	0,78
160	16	1,2	0,01 1	1,16	0,0 16	1,61 2	0,03 2	1,62
170	24	1,4	0,06 4	1,93	0,0 28	2,05 8	0,10 4	2,15
180	32	1,5	0,19 1	2,44	0,0 42	2,38 4	0,22 8	2,51
180	8	0,9	0,07 5	2,04	0,0 31	1,65 0	0,10 6	2,18
170	16	1,2	0,13 1	2,25	0,0 41	2,04 7	0,17 1	2,37
160	24	1,4	0,15 7	2,3	0,0 47	2,25 6	0,20 3	2,41
150	32	1,5	0,17 8	2,33	0,0 53	2,40 6	0,22 9	2,44

По экспериментальным данным оптической плотности, испаряемости и коэффициенту термоокислительной стабильности вычислялись значения тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления Q_D , испарения Q_G и температуры преобразований $Q_{\Pi\text{ТОС}}$, учитывающих процессы окисления и испарения, определяемые произведением

$$Q_D = T \cdot t \cdot D, \quad (4)$$

$$Q_{K_G} = T \cdot t \cdot K_G, \quad (5)$$

$$Q_{\Pi\text{ТОС}} = T \cdot t \cdot \Pi_{\text{ТОС}}. \quad (6)$$

где T – температура испытания, °С; t – время испытания, ч.

Вычисленные значения тепловой энергии логарифмировались (табл. 2) и по полученным данным строились графические зависимости десятичного логарифма тепловой энергии от десятичного логарифма времени испытания, по которым определялись десятичный логарифм тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления и испарения, суммарная тепловая энергия, поглощённая этими продуктами, температуры начала процессов окисления и температуры преобразований в исследуемом масле с учётом процессов окисления и испарения и предельно допустимая температура работоспособности исследуемого моторного масла.

Табл. 2. Расчетные данные

lg t	Q _D = T·t·D, °С·ч	lg Q _D	Q _{K_G} = T·t·K _G , °С·ч	lg Q _G	Q _{ΠТОС} = T·t·Π _{ТОС} , °С·ч	lg Q _{ΠТОС}
0,90	0	0	6	0,778	6	0,78
1,20	14,46	1,16	40,96	1,612	41,7	1,62
1,38	86,499	1,93	114,24	2,058	141,2	2,15
1,50	274,42	2,44	241,92	2,384	327,7	2,51
0,90	109	2,04	44,64	1,650	152,6	2,18
1,20	178,63	2,25	111,52	2,047	233,1	2,37
1,38	201,41	2,3	180,48	2,256	259,9	2,41
1,50	213,65	2,33	254,4	2,406	274,6	2,44

На рис. 1 представлены зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления от десятичного логарифма времени испытания минерального моторного масла в циклах повышения температуры от 150 до 180 °С (прямая 1) и понижения температуры испытания от 180 до 150 °С (прямая 2). Данные зависимости описываются линейными уравнениями

$$\text{(прямая 1)} \quad \lg Q_D = 4,2069(\lg t - 0,92) \quad (7)$$

$$\text{(прямая 2)} \quad \lg Q_D = 0,4873 \cdot (\lg t + 1,6) \quad (8)$$

где 4,2069, 0,4873 – коэффициенты, характеризующие скорость изменения десятичного логарифма тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления, ч⁻¹; 0,92 – коэффициент, характеризующий начало изменения десятичного логарифма тепловой энергии $\lg Q_D$, ч; 1,6 – коэффициент, характеризующий значения десятичного логарифма тепловой энергии при $\lg t = 0$.

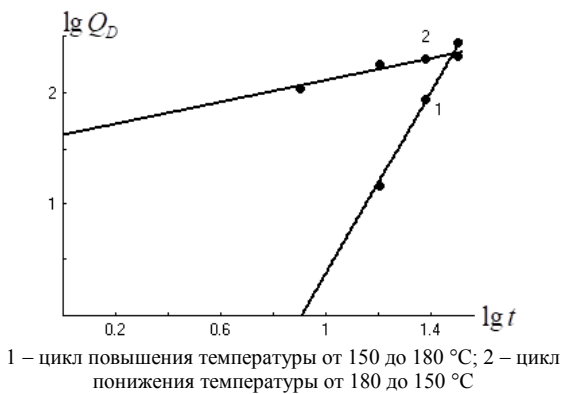


Рис. 1. Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления от десятичного логарифма времени испытания минерального моторного масла MOBIL Super 1000 15W – 40 SL/CF

Приравняв уравнение 7 и 8 определяется десятичный логарифм времени пересечения прямых $4,2069 \cdot \lg t - 4,2069 \cdot 0,92 = 0,4873 \cdot \lg t + 1,6$ $3,7196 \cdot \lg t = 5,4703$ $\lg t = 1,4707$ антилогарифм составил 29,56 часа, т. е. через 29,56 часа при температуре 180 °C прямые пересекутся.

Для определения значения десятичного логарифма тепловой энергии при пересечении прямых 1 и 2 подставим десятичный логарифм времени $\lg t = 1,4707$ в любое уравнение (7 или 8) $\lg Q_D = 4,2069 \cdot (1,4707 - 0,92) = 2,3167$ антилогарифм 207,35 °C·ч.

Координата точки пересечения прямой один с осью абсцисс определяет время начала изменения десятичного логарифма тепловой энергии $\lg Q_D$, логарифм которого равен 0,92, а антилогарифм составил 8,32 часа, т. е. при температуре 150 °C за 8 часов испытания процессы окисления будут отсутствовать, а при температуре 160 °C через 0,32 часа исследуемое масло начнёт окисляться. Таким образом для исследуемого масла определены дополнительные показатели работоспособности при окислении, которые составили: время начала окисления при температуре 160 °C составило 0,32 часа; предельно допустимая температура составила 180 °C, при этом время окисления – 29,56 часа; количество тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления, составило 207,35 °C·ч.

На рис. 2 представлены зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощённой продуктами испарения K_G от десятичного логарифма времени испытания исследуемого моторного масла.

Данные зависимости описываются линейными уравнениями

$$\text{(прямая 1)} \quad \lg Q_{K_G} = 2,6659 \cdot \lg t - 1,61 \quad (9)$$

$$\text{(прямая 2)} \quad \lg Q_{K_G} = 1,2562 \cdot \lg t + 0,52 \quad (10)$$

где 2,6659, 1,2562 – коэффициенты, характеризующие скорость изменения тепловой энергии, поглощённой продуктами испарения, ч^{-1} ; 1,61, 0,52 – коэффициенты, характеризующие количество тепловой энергии при $\lg t = 1,51$.

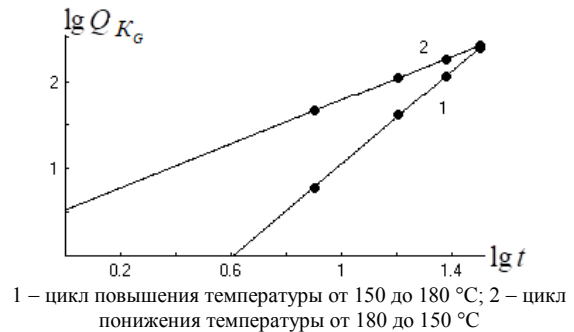


Рис. 2. Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощённой продуктами испарения от десятичного логарифма времени испытания минерального моторного масла MOBIL Super 1000 15W – 40 SL/CF

Приравняв уравнение 9 и 10 определяется десятичный логарифм времени пересечения прямых $2,6659 \cdot \lg t - 1,61 = 1,2562 \cdot \lg t + 0,52$ $1,4097 \cdot \lg t = 2,13$ $\lg t = 1,4097$ $t = 2,13$ часа, т. е. через 2,13 часа при температуре 180 °C прямые пересекутся.

Для определения значения десятичного логарифма тепловой энергии при пересечении прямых 1 и 2 подставим десятичный логарифм времени $\lg t = 1,4097$ в любое из уравнений 9 или 10 $\lg Q_{K_G} = 2,6659 \cdot 1,4097 - 1,61 = 2,088$, а антилогарифм 122,46 °C·ч.

Таким образом при термостатировании минерального моторного масла установлены дополнительные показатели по испаряемости: предельно допустимая температура составила 180 °C; при этом время испарения 2,13 часа; количество тепловой энергии, поглощённой продуктами испарения, составило 122,46 °C·ч.

На рис. 3 представлены зависимости десятичного логарифма суммарной тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления и испарения $\lg Q_{\text{итог}}$ от десятичного логарифма времени испытания исследуемого моторного масла от 150 до 180 °C (прямая 1) и понижения Mobil Super 1000 15W– 40 SL/CF в циклах повышения температуры испытания от 180 до 150 °C (прямая 2).

Данные зависимости описываются линейными уравнениями

$$\text{(прямая 1)} \quad \lg Q_{\text{итог}} = 2,9107(\lg t - 0,64) \quad (11)$$

$$\text{(прямая 2)} \quad \lg Q_{\text{итог}} = 2,5333 \lg t + 1,7 \quad (12)$$

где 2,9107, 0,533 – коэффициенты, характеризующие скорость изменения суммарной тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления и испарения, ч^{-1} ; 0,64 – коэффициент, характеризующий десятичный

логарифм времени начала изменения десятичного логарифма $\lg Q_{\Pi_{\text{тос}}}$, ч^{-1} ; 1,7 – коэффициент, характеризующий, суммарную тепловую энергию при $\lg t = 0$.

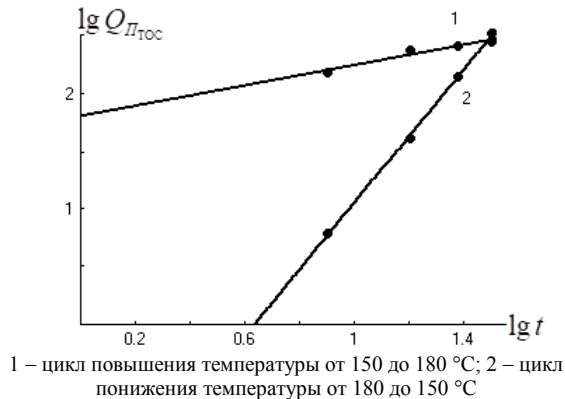


Рис. 3. Зависимости десятичного логарифма суммарной тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления и испарения от десятичного логарифма времени испытания минерального моторного масла MOBIL Super 1000 15W – 40 SL/CF

Приравняв уравнение 11 и 12 определяется десятичный логарифм времени пересечения прямых $2,9107(\lg t - 0,64) = 0,533 \lg t + 1,7$ $2,3774 \cdot \lg t = 3,5628$
 $\lg t = 1,4986$ $t_{\Pi_{\text{тос}}} = 31,52$ часов, т. е. через 31,52 часа при температуре 180 °C прямые пересекутся.

Для определения десятичного логарифма тепловой энергии $\lg Q_{\Pi_{\text{тос}}}$, поглощённой продуктами окисления и испарения при пересечении прямых 1 и 2 подставим десятичный логарифм времени $\lg t = 1,4986$ в любое из уравнений 11 или 12
 $\lg Q_{\Pi_{\text{тос}}} = 2,9107 \cdot (1,4986 - 0,64) = 2,499$ антилогарифм равен 315,5 °C·ч.

ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований минерального моторного масла установлены дополнительные показатели по коэффициенту термоокислительной стабильности $\Pi_{\text{тос}}$: предельно допустимая температура составила 180 °C, при этом время испытания 31,52 часа, количество суммарной тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления и испарения, составило 315,5 °C·ч.

Применение предлагаемого способа позволяет определить предельно допустимые значения: времени окисления $t_{\text{ок}} = 29,56$ часов; количество тепловой энергии, поглощённой продуктами окисления $Q_D = 207,35$ °C·ч; время испарения $t = 2,13$; количество тепловой энергии, поглощённой продуктами испарения $Q_{K_g} = 122,46$ °C·ч; время преобразования $t_{\Pi_{\text{тос}}} = 31,52$ часов; суммарное количество тепловой

энергии поглощённой продуктами окисления и испарения, составило $Q_{\Pi_{\text{тос}}} = 315,5$ °C·ч.

Предлагаемое техническое решение позволяет расширить информацию о предельно допустимых показателях термоокислительной стабильности смазочных материалов в широком диапазоне температур, сравнивать смазочные материалы одного назначения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / И. Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С. А. Бнатов и др. ; под. ред. В. М. Школьников. Изд. 2-е перераб. и доп. – М : Издательский центр «Техинформ» 1999. – 596 с.
2. Пат. № 2274850 РФ, МКИ G 01 № 25/02.Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б. И. Ковальский, С. И. Васильев, Ю. Н. Безбородов, В. В. Гаврилов; опубл. 20. 04. 06. Бюл. № 11.
3. Kowalski B.I. Semigraphical method of motor oils thermal-oxidative stability index control / B.I. Kowalski, V.G. Shram, A.V. Lysyannikov // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019., с. 873-880.
4. Kowalski B.I. Photometric Monitoring of Thermal Stability of Motor Oils and Effect of Thermal Degradation Products on Antiwear Properties / Kowalski B.I., Sokol'nikov A.N. Petrov, O.N. Shram, V.G., Kravtsova E.G. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2016. 52(3), с. 318-324.
5. Kowalski B.I. Testing a method for determining the thermal oxidative stability indicators of lubricants / Kowalski B.I., Shram V.G., Sokolnikov, Alexander N.N. Petrov O.N., Agrovichenko D.V. // Izvestiya vuzov-prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. 2018. Том: 9 Выпуск: 1 Стр.: 139-144.
6. Ковальский, Б.И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б.И. Ковальский. – Новосибирск: Наука, 2005. – С. 341.
7. Ковальский Б. И. Система методов контроля смазочных материалов / Б. И. Ковальский, В. Г. Шрам, Е. Г. Кравцова, Н. Н. Мальшева // Промышленный сервис, 2013, №2 (47), с. 17-20.
8. Пат. 2058326 РФ, МКИ³ G01N 33/30. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б. И. Ковальский, Л. Н. Деревягина, И. А. Кириченко. – 1996, Бюл. №9.
9. Верещагин В.И. Методика оценки ресурса моторных масел / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, А.С. Попов // Вестник КрасГАУ: Вып.6. – Красноярск, 2007. С. 169-174.
10. Пат. № 2627562 РФ, МКИ G 01 № 25/02; G 01 № 25/12. Способ определения термоокислительной стойкости смазочных материалов / Б. И. Ковальский, А. Н. Сокольников, Е. А. Ермилов, В. А. Баясников, Н. С. Батов; опубл. 08.08.2017. Бюл. № 17.
11. Долوماتов, М.Ю. О возможности определения относительной плотности масляных фракций по фотоизображениям / М.Ю. Долوماتов, Д.О. Шуляковская, Р.С. Манапов // Химия и технология топлив и масел. №3. 2015. С 51-53.
12. Лашхи, В.Л. Масло как сложная коллоидная система / В.Л. Лашхи, А.Л. Чудиновских, В.А. Салутенева м // Мир нефтепродуктов. №9. 2015. С 32-35.
13. Чудиновских, А.Л. Химмотологический принцип оценки склонности автомобильных моторных масел к образованию отложений / А.Л. Чудиновских // Химия и технология топлив и масел. №3. 2015. С 3-6.

Ковальский Болеслав Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(913)5111745, e-mail: labsm@mail.ru

Верещагин Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации

газонефтепроводов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(923)3732250, e-mail: valeri-2502@mail.ru

Шрам Вячеслав Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(950)4014163, e-mail: Shram18rus@mail.ru

Кравцова Екатерина Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(913)0333528, e-mail: rina_986@mail.ru

Петров Олег Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации газонефтепроводов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(960)7526235, e-mail: petrov_oleq@mail.ru

METHOD OF DETERMINING THE EXTREMELY ALLOWABLE INDICATORS OF THE WORKING CAPACITY OF LUBRICATING OIL

B.I. Kovalsky, V.I. Vereshchagin, V.G. Shram, E.G. Kravtsova, O.N. Petrov

Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas, Krasnoyarsk

Abstract – One of the main indicators of the temperature limits of the performance of lubricating oils is thermo-oxidative stability. The indicators of thermo-oxidative stability of temperature include indicators of oxidation and evaporation of lubricants. A disadvantage of the known studies is the lack of information on the amount of thermal energy absorbed by the products of oxidation and evaporation and its influence on the maximum allowable quality indicators of lubricants. The aim of the research is to increase the informativeness of monitoring the performance of lubricants by taking into account the thermal energy absorbed by the products of oxidation and evaporation and its influence on the maximum permissible performance indicators. The work presents the results of determining the maximum permissible performance indicators of the mineral motor oil MOBIL Super 1000 15W-40 SL/CF, by thermostating in the temperature range from 150 to 180 °C in increase and decrease cycles, measuring optical density, volatility, coefficient of thermal oxidative stability and the amount of absorbed thermal energy. Using the experimental data on optical density, volatility, and the coefficient of thermo-oxidative stability, we calculated the values of the thermal energy absorbed by the products of oxidation, evaporation, and the temperature of the transformations taking into account the processes of oxidation and evaporation. It is shown that the application of the proposed methodology for cyclic changes in the test temperature makes it possible to determine the temperatures of the onset of oxidation and evaporation processes, the critical temperatures of these processes, and the maximum allowable temperature of the test lubricant. The proposed technical solution allows you to expand information about the maximum permissible indicators of thermo-oxidative stability of lubricants in a wide temperature range, to compare lubricants of the same purpose.

Index terms: temperature control, optical density, evaporation, coefficient of thermal-oxidative stability, maximum permissible temperature.

REFERENCES

1. Fuels, lubricants, technical fluids. Assortment and application: Reference book / I. G. Anisimov, K.M. Badyshova, S. A. Bnatov and others; under. ed. V. M. Shkolnikova. Ed. 2nd rev. and add. - M: Publishing Center "Techninform" 1999. - 596 p.
2. Pat. No. 2274850 RF, MKI G 01 No. 25/02. A method for determining the thermo-oxidative stability of lubricants / B. I. Kovalsky, S. I. Vasiliev, Yu. N. Bezborodov, V. V. Gavrilov; publ. 20. 04. 06. Bull. Number 11.
3. Kowalsky B.I. Semigraphical method of motor oils thermal-oxidative stability index control / B.I. Kowalsky, V.G. Shram, A.V. Lysyannikov // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019., p. 873-880.
4. Kowalsky B.I. Photometric Monitoring of Thermal Stability of Motor Oils and Effect of Thermal Degradation Products on Antiwear Properties / Kowalsky B.I., Sokol'nikov A.N. Petrov, O.N. Shram, V.G., Kravtsova E.G. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2016.52 (3), p. 318-324.
5. Kowalski B.I. Testing a method for determining the thermal oxidative stability indicators of lubricants / Kowalski B.I., Shram V.G., Sokolnikov, Alexander N.N. Petrov O.N., Agrovichenko D.V. // Izvestiya vuzov-prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. 2018. Volume: 9 Issue: 1 Pages: 139-144.
6. Kovalsky, B.I. Methods and means of increasing the efficiency of the use of lubricants / B.I. Kowalski. - Novosibirsk: Nauka, 2005. P. 341.
7. Vereshchagin V.I. The results of the study of the state of engine oil during engine operation / V.I. Vereshchagin, B.I. Kovalsky, M.M. Runda // Bulletin of the Tomsk Polytechnic. University (TPU) - T. 322: - 2013. - No. 2 - S. 157-159.
8. Kovalsky B. I. Methods of identification of lubricating oils / B. I. Kovalsky, M. M. Runda, A. V. Berko, A. V. Yudin // World of Petroleum Products. Bulletin of the Oil Companies, No. 8, 2003 p.
9. Kovalsky B.I. The system of methods for controlling lubricants / B.I. . 17-20.
10. Pat. 2058326 RF, MKI3 GOIN 33/30. A method for determining the thermo-oxidative stability of lubricants / B. I. Kovalsky, L. N. Derevyagina, I. A. Kirichenko. - 1996, Bull. No. 9.
11. Kondakov L. A. Working fluids and seals of hydraulic systems / L. A. Kondakov. - M.: Mechanical Engineering 1982. - 216 p.
12. Kovalsky, B. I. Results of testing motor oils for thermo-oxidative stability under cyclic temperature changes / B. I. Kovalsky, A. A. Masalov, M. M. Runda // Collection of abstracts of deposited manuscripts. - 2011. - No. 95. - p. 19.
13. Vereshchagin V.I. Methodology for assessing the resource of motor oils / V.I. Vereshchagin, B.I. Kovalsky, A.S. Popov // Vestnik KrasGAU: Issue 6. - Krasnoyarsk, 2007.S. 169-174.
14. Pat. No. 2627562 of the Russian Federation, MKI G 01 No. 25/02; G 01 No. 25/12. A method for determining the thermal oxidative stability of lubricants / B. I. Kovalsky, A. N. Sokolnikov, E. A. Ermilov, V. A. Balyasnikov, N. S. Batov; publ. 08/08/2017. Bull. Number 17.
15. Dolomatov, M.Yu. On the possibility of determining the relative density of oil fractions from photographs / M.Yu. Dolomatov D.O. Shulyakovskaya, R.S. Manapov // Chemistry and technology of fuels and oils. Number 3. 2015. From 51-53.
16. Lashi, V.L. Oil as a complex colloidal system / V.L. Lashkhi, A.L. Chudinovsky, V.A. Saluteneva // World of petroleum products. No. 9. 2015. From 32-35.
17. Chudinovsky, A.L. Chemotological principle for assessing the tendency of automobile motor oils to deposit formation / A.L. Chudinovsky // Chemistry and technology of fuels and oils. Number 3. 2015. From 3-6.

Kovalsky Boleslav Ivanovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Fuel Supply and Combustive-Lubricating Materials, Institute of Oil and Gas, FSAEI of Siberian Federal University, tel. 8 (913) 5111745, e-mail: labsm@mail.ru

Vereshchagin Valery Ivanovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Operation of Gas and Oil Pipelines, Institute of Oil and Gas FSAEI of Siberian Federal University, tel. 8 (923) 3732250, e-mail: valeri-2502@mail.ru

Shram Vyacheslav Gennadievich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Fuel Supply and Combustive-Lubricating Materials, Institute of Oil and Gas, FSAEI of Siberian Federal University, tel. 8 (950) 4014163, e-mail: Shram18rus@mail.ru

Kravtsova Ekaterina Gennadievna - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Fuel Supply and Combustive-Lubricating Materials, Institute of Oil and Gas, FSAEI of Siberian Federal University, Tel. 8 (913) 0333528, e-mail: rina_986@mail.ru

Petrov Oleg Nikolaevich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Operation of Gas and Oil Pipelines, Institute of Oil and Gas, FSAEI of Siberian Federal University, tel. 8 (960) 7526235, e-mail: petrov_oleq@mail.ru