

ISSN 1999-4125 (Print)

Научная статья

УДК 550.8.05

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-1-52-61

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА KIXX G1 5W-40 SN/CF**Рябинин Александр Александрович, Гейль Наталья Владимировна,
Большаков Кирилл Александрович**

Сибирский федеральный университет

*для корреспонденции: aaryabinin@sfu-kras.ru

**Информация о статье**

Поступила:

03 ноября 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 января 2023 г.

Принята к публикации:

28 февраля 2023 г.

Опубликована:

30 марта 2023 г.

Ключевые слова:

термостатирование, оптическая плотность, испаряемость, аналитическая модель расчета, температура процессов окисления и испарения, температурная область работоспособности смазочного масла, георесурсы, экологическая составляющая георесурсов.

Аннотация.

В статье представлен метод прогнозирования показателей термоокислительной стабильности, включающий оптическую плотность и испаряемость моторных масел по сокращенной температурной информации. Метод основан на применении аналитической модели расчета показателей термоокислительной стабильности по данным двух температур для третьей температуры, а также определения температурной области работоспособности моторных масел, включающей температуры начала процессов окисления и испарения и критические температуры этих процессов, что позволяет их сравнивать и отбирать более термостойкие, снимая трудоемкость экспериментальных исследований. Данный метод позволяет расширить информативность использования моторного масла KIXX G1 5W-40 SN/CF, а также повысить ресурс работоспособности и тем самым увеличить экологическую составляющую при использовании георесурсов; моторное масло возможно использовать более длительное время без потери своих заявленных свойств.

Данный метод прогнозирования показателей термоокислительной стабильности, предусматривающий применение прибора для термостатирования, фотометрического устройства и электронных весов, позволяет расширить информацию о качестве моторных масел, включающую температуры начала процессов окисления и испарения, критические температуры этих процессов и температурную область применения. Установлена линейная зависимость десятичного логарифма времени термостатирования при окислении и испарении исследуемого моторного масла от температуры, что позволяет прогнозировать десятичные логарифмы времени термостатирования процессов окисления и испарения для любых температур, а вычисление антилогарифмов определяет время термостатирования.

Для цитирования: Рябинин А.А., Гейль Н.В., Большаков К.А. Метод прогнозирования показателей термоокислительной стабильности синтетического моторного масла KIXX G1 5W-40 SN/CF // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 1 (155). С. 52-61. doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-52-61

Введение. Термоокислительная стабильность моторных масел является эксплуатационным показателем [1], характеризующим процесс старения, и определяется стандартами [2-4], для

снижения трудоемкости и расширения информативности методов контроля показателей термоокислительной стабильности применяются различные методы [5-21], основанные на определении оптической плотности, испаряемости, температур начала процессов окисления и испарения, критических температур этих процессов и температурной области применения моторных масел. Важное значение при решении этих задач занимает прогнозирование, основанное на ограниченной информации экспериментальных данных, поэтому целью настоящих исследований является разработка и апробации метода прогнозирования показателей термоокислительной стабильности, включающего определение оптической плотности и испаряемости при сокращенных экспериментальных данных.

Основная часть

Для исследования выбраны следующие средства контроля и испытания: прибор для термостатирования моторных масел, фотометрическое устройство для прямого фотометрирования окисленных масел при толщине фотометрированного слоя 2 мм и электронные весы для определения массы испарившегося масла за время термостатирования.

Для исследования выбрано всесезонное универсальное синтетическое моторное масло Kixx G1 5W-40 SN/CF, масло испытывалось при температурах 160, 170, 180, 190°C, определялись показатели термоокислительной стабильности, включающие оптическую плотность и испаряемость, по этим данным вычислялись значения этих показателей для других температур. Методика исследования заключается в следующем. Проба масла постоянной массы ($100 \pm 0,1$ г) заливалась в термостойкий стеклянный стакан прибора для термостатирования и испытывалась в течение 8 часов с перемешиванием стеклянной мешалкой с частотой вращения 300 об/мин. После каждых 8 часов термостатирования проба масла взвешивалась, определялась масса испарившегося масла G, отбиралась часть пробы (2 г) для прямого фотометрирования и определения оптической плотности D

$$D = \lg \varphi / \varphi_0, \quad (1)$$

где φ – световой поток, прошедший через кювету без смазочного масла, μKA

φ_0 – световой поток, прошедший через кювету с окисленным маслом, μKA

Затем отработанная проба масла с кюветы сшивалась в стакан прибора, который повторно взвешивался. Испытания продолжались при каждой температуре до достижения оптической прочности, равной $D=0,3-0,4$. В процессе испытания температура и частота вращения мешалки поддерживались автоматически.

По полученным данным оптической плотности и испаряемости строились графические зависимости от времени и температуры термостатирования, по которым определялась адекватность аналитической модели расчета показателей термоокислительной стабильности по двум температурам и прогнозирование их значений для любых температур, а также определение температур начала процессов окисления и испарения и критических температур этих процессов для исследуемого масла, по которым определялась температурная область его работоспособности.

На Рис. 1 представлены зависимости оптической прочности от времени и температуры термостатирования синтетического моторного масла Kixx G1 5W-40 SN/CF. Данные зависимости описываются полиномом второго порядка, а регрессивные уравнения имеют вид для температур:

$$190 \text{ } ^\circ\text{C} \quad D = 0,0010683 * t^2 * 0,0108 * t + 0,0484 \quad (2)$$

$$180 \text{ } ^\circ\text{C} \quad D = (1,739 * 10^{-4}) * t^2 + 0,00212t - 0,0565 \quad (3)$$

$$170 \text{ } ^\circ\text{C} \quad D = (7,586 * 10^{-6}) * t^2 + 0,0055t - 0,1740 \quad (4)$$

$$160 \text{ } ^\circ\text{C} \quad D = -(1,9399 * 10^{-6}) * t^2 + 0,0039t - 0,2207 \quad (5)$$

Коэффициенты корреляции: 0,9984; 0,9982; 0,9997; 0,9931

Средние квадратичные отклонения: 0,0055; 0,006; 0,0023; 0,0118, где коэффициенты 0,0108; 0,00212; 0,0055 и 0,0039 характеризуют скорость процессов окисления; коэффициенты

0,0010883; $1,739 \cdot 10^{-4}$; $7,586 \cdot 10^{-6}$; $1,9399 \cdot 10^{-6}$ характеризуют ускорение процесса окисления; свободные члены уравнений (2–5) характеризуют оптическую плотность товарного масла.

Установлено, что с изменением температуры термостатирования от 160 до 190°C скорость окисления увеличивается в 2,769 раза.

Для прогнозирования показателей термоокислительной стабильности использовалась аналитическая модель, выраженная формулой:

$$\lg t_1 - \lg t_2 / T_2 - T_1 = \lg t_1 - \lg t_x / T_x - T_1, \quad (6)$$

где t_1 – время достижения установленных значений оптической прочности при температуре T_1 ;

t_2 – тоже при температуре T_2 ;

t_x – искомое время достижения установленных значений оптической прочности при искомой температуре T_x .

Для того, чтобы реализовать метод прогнозирования, необходимо экспериментально получить зависимости оптической прочности и испаряемости от двух температур, провести горизонтальные линии при значениях оптической плотности, например, $D=0,05$; 0,1; 0,2 и так далее, определить координаты точек по времени пересечения горизонтальных линий с данными зависимостями, вычислить десятичные логарифмы времени и, примерая аналитическую модель (6), вычислить $\lg t_x$ при заданной температуре (Рис. 2). Например, для оптической плотности $D=0,05$ время достижения этого значения (Рис. 1) составляет для температур 180°C – 19 часов, $\lg t = 1,29$; 170°C – 38 часов; $\lg t = 1,58$, необходимо

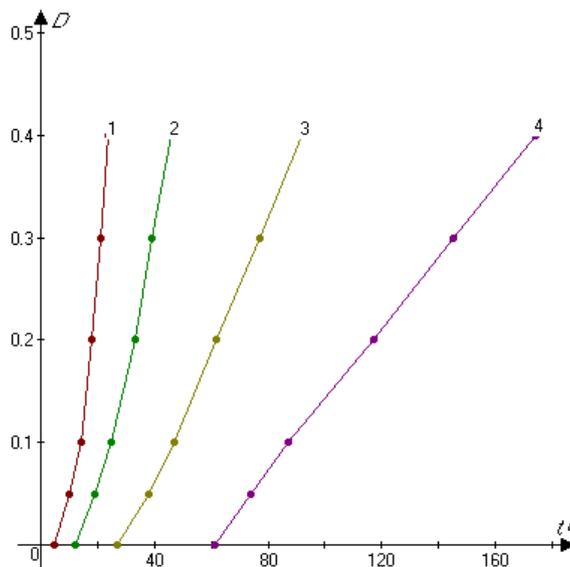


Рис. 1. Зависимости оптической плотности от времени и температуры термостатирования синтетического моторного масла Kixx G1 5W-40 SN/CF: 1 – 190 °C; 2 – 180 °C; 3 – 170 °C; 4 – 160 °C

Fig. 1. Dependences of optical density on time and thermostating temperature of synthetic motor oil Kixx G1 5W-40 SN / CF: 1 – 190 °C; 2 – 180 °C; 3 – 170 °C; 4 – 160 °C

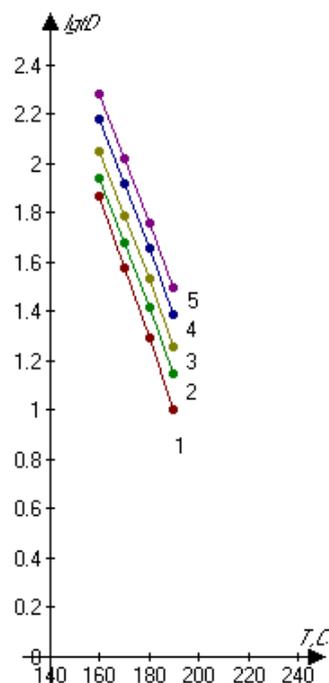


Рис. 2. Зависимости десятичного логарифма времени от температуры термостатирования и оптической плотности синтетического моторного масла Kixx G1 5W-40 SN/CF: 1 – $D=0,05$; 2 – $D=0,1$; 3 – $D=0,2$; 4 – $D=0,3$; 5 – $D=0,4$

Fig. 2. Dependences of the decimal logarithm of time on the thermostating temperature and optical density of synthetic motor oil Kixx G1 5W-40 SN/CF: 1 – $D=0,05$; 2 – $D=0,1$; 3 – $D=0,2$; 4 – $D=0,3$; 5 – $D=0,4$

вычислить $\lg t$ для температуры 190°C.

$\lg t_{190} = 2 * \lg t_{180} - \lg t_{180} = 2 * 1,29 - 1,58 = 1,0$ или 10 часов, что соответствует графику кривой 1 (Рис.1)

Согласно данным (Рис.2) зависимости десятичных логарифмов то времени достижения установленных значений оптической плотности от температуры термостатирования описываются линейными уравнениями для оптической плотности:

$$D=0,05 \lg t_D = -0,029 * T + 6,51 \quad (7)$$

$$D=0,1 \lg t_D = -0,0263 * T + 6,153 \quad (8)$$

$$D=0,2 \lg t_D = -0,0263 * T + 6,263 \quad (9)$$

$$D=0,3 \lg t_D = -0,0263 * T + 6,392 \quad (10)$$

$$D=0,4 \lg t_D = -0,026 * T + 6,44 \quad (11)$$

Коэффициенты корреляции: 1; 0,9999; 0,9999; 0,9999; 1.

Средние квадратические отклонения: $8,85 * 10^{-20}$; 0,0031; 0,0032; 0,0032; $3,066 * 10^{-19}$

Решая уравнение (7) при $\lg t_d = 0$, определяем критическую температуру исследуемого синтетического масла, которая составила 22,5°C. Однако при увеличении оптической плотности (прямые 2–5, Рис. 2) критические температуры будут увеличиваться, поэтому для сравнения смазочных масел необходимо оптическую плотность принимать постоянным значением, например, $D=0,05$.

Для определения температуры начала процессов окисления необходимо на зависимостях (Рис. 1) провести вертикальную линию при времени термостатирования $t=25$ часов, вычислить координаты по оптической плотности пересечения этих линий с зависимостями и построить графическую зависимость оптической плотности от температуры термостатирования (Рис. 3). Данная зависимость описывается полиномом второго порядка, а регрессивное уравнение имеет вид:

$$\lg D = 0,0215 * T - 3,6933, \quad (12)$$

Коэффициенты корреляции: 0,9129

Среднее квадратичное отклонение: 0,0663

Решая уравнение (12), определяем температуру начала процессов окисления для исследуемого масла, которая составила 171,78°C

На Рис. 4 представлены зависимости испаряемости от времени и температуры термостатирования синтетического моторного масла. Данные зависимости описываются полиномом второго порядка, а регрессивные уравнения имеют вид для температур:

$$190^\circ\text{C } G = -(1,9416 * 10^{-19}) * t^2 + 0,2769 * t + 0,7 \quad (13)$$

$$180^\circ\text{C } G = 0,0011 * t^2 + 0,1477 * t + 0,6078 \quad (14)$$

$$170^\circ\text{C } G = -(7,4985 * 10^{-4}) * t^2 + 0,1258 * t + 0,1623 \quad (15)$$

$$160^\circ\text{C } G = -(4,1042 * 10^{-4}) * t^2 + 0,0878 * t - 0,2342 \quad (16)$$

Коэффициенты корреляции: 0,9969; 0,9999; 0,9999; 0,9942.

Средние квадратические отклонения: 0,0716; $5,0058 * 10^{-6}$; 0,0128; 0,0980, где коэффициенты 0,2769, 0,1477, 0,1258, 0,0878 характеризуют скорость процесса испарения в зависимости от температуры термостатирования; коэффициенты $1,9416 * 10^{-19}$; 0,0011; $7,4985 * 10^{-4}$ и $4,1042 * 10^{-4}$ характеризуют ускорение процесса испарения, а свободные члены уравнений (13–15) – испаряемость исходного товарного масла.

Установлено, что скорость процессов испарения замедляется с понижением температуры термостатирования. Так, с понижением температуры от 190 до 160°C скорость испарения уменьшилась в 4,73 раза.

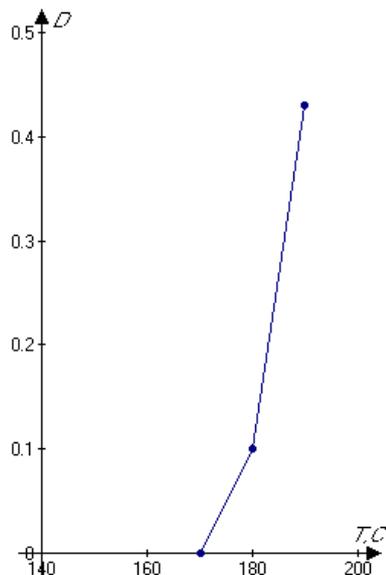


Рис. 3. Зависимость оптической плотности от температуры термостатирования синтетического моторного масла Kixx G1 5W-40 SN/CF (время термостатирования 25 часов)
 Fig. 3. The dependence of the optical density on the thermostating temperature of synthetic engine oil Kixx G1 5W-40 SN / CF (temperature control time 25 hours)

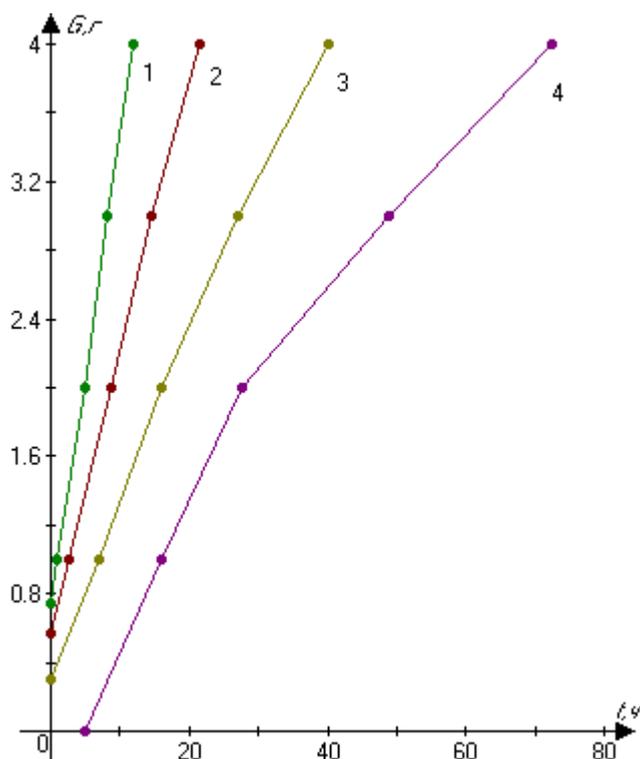


Рис. 4. Зависимости испаряемости от времени и температуры термостатирования синтетического моторного масла Kixx G1 5W-40 SN/CF: 1 – 190°C; 2 – 180°C; 3 – 170°C; 4 – 160°C

Fig. 4. Dependences of volatility on time and thermostating temperature of synthetic motor oil Kixx G1 5W-40 SN/CF: 1 – 190°C; 2 – 180°C; 3 – 170°C; 4 – 160°C

Для проверки применимости аналитической модели прогнозирования показателей термоокислительной стабильности расчищаем значения времени испарения 2-х граммов масла при температуре 190°C по значениям времени для температур 180 и 170°C

$$\lg t_{190} = 2 * \lg t_{180} - \lg t_{170} \quad (17)$$

Время термостатирования для температуры 180°C составило 8 часов $\lg t_G = 0,945$, для температуры 170° – 16 часов, $\lg t_G = 1,2$

$$\lg t_{190} = 2 * 0,945 - 1,2 = 0,69 \quad \text{или} \quad t = 4,9 \text{ часа}$$

На графике (кривая 1, Рис. 4) $t = 5$ часов. Погрешность составила 2%.

Для определения критической температуры испарения необходимо на зависимостях (Рис. 4) привести горизонтальные штриховые линии при значениях испаряемости $G = 1; 2; 3$ и 4 граммов масла, определить координаты по времени пересечения этих линий с зависимостями для каждой температуры, вычислить десятичные логарифмы этого времени и построить графические зависимости десятичных логарифмов времени от температуры термостатирования и значений испаряемости (Рис. 5).

Данные зависимости описываются линейными уравнениями для испаряемости:

$$G = 1,0(\text{r}) \lg t_G = -0,0257 * T + 5,327 \quad (18)$$

$$G = 2,0(\text{r}) \lg t_G = -0,0247 * T + 5,387 \quad (19)$$

$$G = 3,0(\text{r}) \lg t_G = -0,0263 * T + 5,903 \quad (20)$$

$$G = 4,0(\text{r}) \lg t_G = -0,242 * T + 5,725 \quad (21)$$

Коэффициенты корреляции: 0,9996; 0,9797; 0,4894; 0,9926.

Средние квадратические отклонения: 0,0064; 0,0477; 0,4805; 0,0269.

Для определения критической температуры испарения для исследуемого масла используем уравнение (19), полученное для испаряемости 2 граммов масла. Решая уравнение (19), определяем критическую температуру, которая составила 218°C.

Для определения температуры начала процессов испарения необходимо на зависимостях (Рис. 4) провести вертикальную линию при времени 20 часов, вычислить координаты по испарению для каждой температуры и построить графическую зависимость испаряемости от температуры термостатирования (Рис. 6). Данная зависимость описывается полиномом второго порядка, а регрессионное уравнение имеет вид:

$$G=0,002 \cdot T^2 - 0,555 \cdot T + 38,9 \quad (22)$$

Коэффициент корреляции: 0,999

Среднее квадратическое отклонение: $3,4354 \cdot 10^{-18}$

Решая уравнение (22), определяем температуру начала процессов испарения, которая составила 70°C.

В результате проведенных исследований установлено, что температура начала процессов окисления составила 171,8 °С, а испарения 70 °С, критическая температура процессов окисления составила 225°C, а испарения – 218°C. Таким образом, температурная область работоспособности моторного масла ограничивается температурой 218°C.

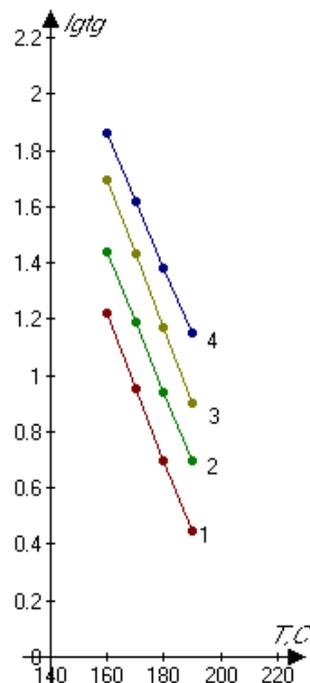


Рис. 5. Зависимости десятичного логарифма времени термостатирования от температуры и массы испарившегося синтетического моторного масла Kixx G1 5W-40 SN/CF: 1 – G=1g; 2 – G=2g; 3 – G=3g; 4 – G=4g
Fig. 5. Dependences of the decimal logarithm of the thermostating temperature on the temperature and mass of the evaporated synthetic motor oil Kixx G1 5W-40 SN / CF: 1 – G=1g; 2 – G=2g; 3 – G=3g; 4 – G = 4g

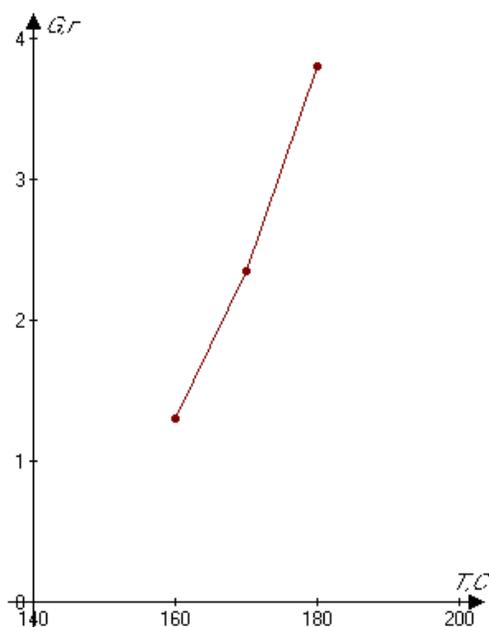


Рис. 6. Зависимость испаряемости от температуры термостатирования синтетического моторного масла Kixx G1 5W-40 SN/CF (время термостатирования 20 часов)
Fig. 6. Evaporation rate versus thermostating temperature for synthetic engine oil Kixx G1 5W-40 SN / CF (thermostating time 20 hours)

Выводы:

1. Рассмотренный метод прогнозирования показателей термоокислительной стабильности, предусматривающий применение прибора для термостатирования, фотометрического устройства и электронных весов, позволяет расширить информацию о качестве моторных масел, включающую температуры начала процессов окисления и испарения, критические температуры этих процессов и температурную область применения.

2. Установлена линейная зависимость десятичного логарифма времени термостатирования при окислении и испарении исследуемого моторного масла от температуры, что позволяет прогнозировать десятичные логарифмы времени термостатирования процессов окисления и испарения для любых температур, а вычисление антилогарифмов определяет время термостатирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов И. Г., Бадышгова К. М., Бнатов С. А. Топливо, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / под редакцией Школьников В. М. М. : Издательский центр «Техинформ», 1999. 596 с.
2. ГОСТ 20457–75. Масла моторные. Методы оценки антиокислительных свойств на установке ИКМ. М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. 8с.
3. ГОСТ 23175–78. Масла моторные. Методы оценки моторных свойств и определения термоокислительной стабильности; введ. 1980 – 01 – 01. М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. 8с.
4. ГОСТ 11063–77. Масла моторные с присадками. Метод определения стабильности по индукционному периоду осадкообразования; введ. 1979 – 07 – 01. М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. 4с.
5. Способ прогнозирования показателей термоокислительной стабильности смазочных материалов: пат. Рос. Федерация / Ковальский Б. И., Петров О. Н., Шрам В. Г., Лысянникова Н. Н. – № 2649660; заявл.23.04.19; опубл. 25.07.19. Бюл. №21. 13с.
6. Ковальский Б. И., Пустовит П. Ю., Батов Н. С., Лысянникова Н. Н. Температурные параметры работоспособности моторных масел // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2019. №4. С. 34–38.
7. Ковальский Б. И., Афанасов В. И., Шрам В. Г. Контроль температурных параметров работоспособности смеси моторных масел // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. №8(4). С.125-133.
8. Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Верещагин В. И., Петров О. Н., Шрам В. Г., Кравцова Е. Г. Метод определения показателей термоокислительной стабильности моторных масел и их температурной области // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. Выпуск №9. С. 419–427.
9. Балясников В. А. Метод контроля температурных пределов работоспособности трансмиссионных масел различной базовой основы // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. Выпуск №4. С. 163–171.
10. Балясников В. Н. Метод контроля температурных пределов работоспособности полусинтетических моторных масел // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. Выпуск №3. С. 118–125.
11. Ковальский Б. И. Метод контроля температурных параметров работоспособности моторных масел // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2018. №3. С. 34–36.
12. Aleksanyan K. G., Stokolos O. A., Yarullin N. R. [et al.] Synthesis and study of properties of derivatives of phloroglucinolmethylviologen as antioxidant additives to oils // ChemChemTech. 2019. V. 62. № 8. P. 132-138.
13. Alimova Z. Research of changes in the motor oils quality when operating an engine and improving their // Industrial Technology and Engineering. 2020, № 3(36). P. 11-16.
14. Rasheed A. K., Khalid M., Walvekar R. [et al.] Study of graphene nanolubricant using thermogravimetric analysis // Journal of Materials Research. 2016. V. 31. № 13. P. 1939-1946.
15. Heredia-Cancino J. A., Ramezani M., Álvarez-Ramos M. E. Effect of degradation on tribological performance of engine lubricants at elevated temperatures // Tribology International. 2018. V. 124. P. 230-237.
16. Lysyannikova N. N., Kravcova E. G., Kovaleva M. A. Control method of thermo-oxidative stability factors of synthetic motor oil // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019. № 9783319956299. P. 1039-1048.
17. Balabanov V. I. Self-organization of friction conditions when using repair and recovery additives to lubricants // Трибологичен журнал БУЛТРИБ. 2018. V. 7. № 7. P. 132.
18. Остриков В. В., Афоничев Д. Н., Оробинский В. И., Балабанов В. И. Удаление продуктов старения из работающих моторных масел без их слива из картеров двигателей машин // Химия и технология топлив и масел. 2020. № 3. С. 18–21.
19. Багдасаров Л. Н. Исследование влияния биодизельного топлива на термоокислительную стабильность моторного масла // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2016. № 4(285). С. 113–120.
20. Лашхи В. Л., Чудиновских А. Л., Салутенова В. А. Масло как сложная коллоидная система // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2015. №9. С. 32–35.

21. Чудиновских А. Л. Химмотологический принцип оценки склонности автомобильных моторных масел к образованию отложений // Химия и технология топлив и масел. 2015. №3. С. 3-6.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Рябинин Александр Александрович, канд. техн. наук, Сибирский федеральный университет, (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82/6), e-mail: aaryabinin@sfu-kras.ru.

Гейль Наталья Владимировна, магистрант, Сибирский федеральный университет, (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82/6), e-mail: nguayl@sfu-kras.ru

Большаков Кирилл Александрович, магистрант, Сибирский федеральный университет, (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82/6), e-mail: bolshakov374@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Рябинин Александр Александрович – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы.

Гейль Наталья Владимировна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Большаков Кирилл Александрович – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

METHOD OF PREDICTING INDICATORS OF THERMAL OXIDATIVE STABILITY OF KIXX G1 5W-40 SN/CF SYNTHETIC ENGINE OIL

Alexander A. Ryabinin, Natalya V. Geil,
Kirill A. Bolshakov

Siberian Federal University

*for correspondence: : aaryabinin@sfu-kras.ru



Article info

Received:

03 November 2022

Accepted for publication:

15 January 2023

Accepted:

28 February 2023

Published:

30 March 2023

Keywords: temperature control, optical density, volatility, analytical calculation model, temperature of the beginning of oxidation and evaporation

Abstract.

The article presents a method for predicting the indicators of thermal-oxidative stability, including the optical density and volatility of motor oils according to abbreviated temperature information, the method is based on the use of an analytical model for calculating the indicators of thermal-oxidative stability according to two temperatures for the third temperature, as well as determining the temperature range of the performance of motor oils, including the temperatures of the beginning of the processes of oxidation and evaporation and the critical temperatures of these processes, which makes it possible to compare them and select more heat-resistant ones, removing the laboriousness of experimental studies. This method allows you to expand the information content of using KIXX G1 5W-40 SN / CF engine oil, as well as increase the service life, thereby increasing the environmental component when using georesources, engine oil can be used for a longer time without losing its declared properties.

This method of predicting the indicators of thermal-oxidative stability, which involves the use of a temperature control device, a photometric device, and electronic scales, allows expanding information on the quality of motor oils, including the temperatures of the onset of oxidation and evaporation processes, the critical temperatures of these processes, and the temperature

processes, critical temperatures of oxidation and evaporation processes, temperature range of lubricating oil performance, georesources, ecological component of georesources

range of application. The established linear dependence of the decimal logarithm of the temperature control time during oxidation and evaporation of the studied engine oil on temperature, which allows predicting the decimal logarithms of the temperature control time of the oxidation and evaporation processes for any temperature, and the calculation of antilogarithms determines the temperature control time.

For citation: Ryabinin A.A., Geil N.V., Bolshakov K.A. Method of predicting indicators of thermal oxidative stability of KIXX G1 5W-40 SN/CF synthetic engine oil. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 1(155):52-61. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2023-1-52-61

REFERENCES

1. Anisimov I.G., Badyshgova K.M., Bnatov S.A. Topливо, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primenenie: Spravochnik [Fuel, lubricants, technical fluids. Range and application: Handbook]. Moscow: Tekhinform Publ., 1999, 596 p. (in Russ)
2. GOST 20457–75. Masla motornye. Metody otsenki antiokislitel'nykh svoystv na ustanovke IKM [State Standard 20457–75. Motor oils. Methods for assessing antioxidant properties at the IKM installation]. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov, Publ., 2002. 8p. FOCT
3. GOST 23175–78. Masla motornye. Metody otsenki motornykh svoystv i opredeleniya termookislitel'noi stabil'nosti [State Standard 20457–75. Motor oils. Methods for assessing motor properties and determining thermo-oxidative stability]. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov, Publ., 2002. 8p. FOCT
4. GOST 11063–77. Masla motornye s prisadkami. Metod opredeleniya stabil'nosti po induktsionnomu periodu osadkoobrazovaniya [Motor oils with additives. Method for determination of stability by induction period of sedimentation]. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov, Publ., 2002. 4p. FOCT
5. Koval'skii B.I., Petrov O.N., Shram V.G., Lysyannikova N.N. Sposob prognozirovaniya pokazatelei termookislitel'noi stabil'nosti smazochnykh materialov [Method for predicting indicators of thermo-oxidative stability of lubricants]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2649660 (2019).
6. Koval'skii B.I., Pustovit P.Yu., Batov N.S., Lysyannikova N.N. Temperaturnye parametry rabotosposobnosti motornykh masel [Temperature parameters of the performance of motor oils]. *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii*. 2019; 4:34–38.
7. Koval'skii B.I., Afanasov V.I., Shram V.G. Kontrol' temperaturnykh parametrov rabotosposobnosti smesi motornykh masel [Control of temperature parameters of working capacity of a mixture of motor oils]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*, 2018; 8(4):125-133.
8. Koval'skii B.I., Bezborodov Yu.N., Vereshchagin V.I., Petrov O.N., Shram V.G., Kravtsova E.G. Metod opredeleniya pokazatelei termookislitel'noi stabil'nosti motornykh masel i ikh temperaturnoi oblasti [Method for determination of indicators of thermo-oxidative stability of motor oils and their temperature range]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2019; 9:419–427.
9. Balyasnikov V.A. Metod kontrolya temperaturnykh predelov rabotosposobnosti transmissionnykh masel razlichnoi bazovoi osnovy [Method for monitoring the temperature limits of the performance of transmission oils of various base bases]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2017; 4:163–171.
10. Balyasnikov V.N. Metod kontrolya temperaturnykh predelov rabotosposobnosti polusinteticheskikh motornykh masel [Method of control of temperature limits of working capacity of semi-synthetic motor oils]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2017; 3:118–125.
11. Koval'skii B.I. Metod kontrolya temperaturnykh parametrov rabotosposobnosti motornykh masel [Method for monitoring the temperature parameters of the performance of motor oils]. *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii*. 2018; 3:34–36.
12. Aleksanyan K.G. Synthesis and study of properties of derivatives of phloroglucinolmethylviologen as antioxidant additives to oils. *ChemChemTech*. 2019; 8(62):132–138.
13. Alimova Z. Research of changes in the motor oils quality when operating an engine and improving their. *Industrial Technology and Engineering*. 2020; 3(36):11–16.
14. Rasheed A.K. Study of graphene nanolubricant using thermogravimetric analysis. *Journal of Materials Research*. 2016; 31:1939–1946.
15. Heredia-Cancino J.A. Effect of degradation on tribological performance of engine lubricants at elevated temperatures. *Tribology International*. 2018; 124:230–237.
16. Lysyannikova N.N. Control method of thermo-oxidative stability factors of synthetic motor oil [Control method of thermo-oxidative stability factors of synthetic motor oil]. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2019; 9783319956299:1039–1048.
17. Balabanov V.I. Self-organization of friction conditions when using repair and recovery additives to lubricants [Self-organization of friction conditions when using repair and recovery additives to lubricants]. *Tribologichen zhurnal*

BULTRIB. 2018; 7:132.

18. Ostrikov V.V., Afonichev D.N., Orobinskii V.I., Balabanov V.I. Uдалenie produktov stareniya iz rabotayushchikh motornykh masel bez ikh sliva iz karterov dvigatelei mashin [Removal of aging products from operating engine oils without draining them from the crankcases of machine engines]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel.* 2020; 3:18–21.

19. Bagdasarov L.N. Issledovanie vliyaniya biodizel'nogo topliva na termookislitel'nyuyu stabil'nost' motornogo masla [Study of the effect of biodiesel fuel on the thermal-oxidative stability of motor oil]. *Trudy Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta nefi i gaza imeni I.M. Gubkina.* 2016; 4(285):113–120.

20. Lashki V.L., Chudinovskikh A.L., Salutenova V.A. Maslo kak slozhnaya kolloidnaya sistema [Oil as a complex colloidal system]. *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii.* 2015; 9:32–35.

21. Chudinovskikh A.L. Khimmotologicheskii printsip otsenki sklonnosti avtomobil'nykh motornykh masel k obrazovaniyu otlozhenii [Chemotological principle of assessing the tendency of motor oils to form deposits]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel.* 2015; 3:3–6.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Ryabinin Alexander Alexandrovich, C. Sc. in Engineering, Siberian Federal University, (82/6, pr. Svobodniy, Krasnoyarsk, 660041), e-mail: aaryabinin@sfu-kras.ru.ru

Geil Natalya Vladimirovna, undergraduate, Siberian Federal University, (82/6, pr. Svobodniy, Krasnoyarsk, 660041), e-mail: ngyayl@sfu-kras.ru

Bolshakov Kirill Alexandrovich, undergraduate, Siberian Federal University, (82/6, pr. Svobodniy, Krasnoyarsk, 660041), e-mail: bolshakov374@gmail.com

Contribution of the authors:

Ryabinin Alexander Alexandrovich – formulation of a research task; scientific management; conceptualization of research; writing a text, collecting and analyzing data; review of relevant literature; conclusions.

Natalia V. Geil – review of relevant literature, data collection and analysis.

Bolshakov Kirill Alexandrovich – review of relevant literature, data collection and analysis.

All authors have read and approved the final manuscript.

