

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-5-175-182

УДК 621.892.2

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ МОТОРНОГО МАСЛА РОСНЕФТЬ МАКСИМУМ 10W-40

GRAPHIC-ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINATION OF THERMAL OXIDATION STABILITY OF ROSNEFT MAXIMUM 10W-40 ENGINE OIL

Ковальский Болеслав Иванович,

доктор техн. наук, профессор, e-mail: labsm@mail.ru

Kowalski Boleslav I., Dr. Sc., Professor

Агровиченко Дарья Валентиновна,

аспирант, e-mail: dagrovichenko@sfu-kras.ru

Agrovichenko Dariya V., postgraduate

Сокольников Александр Николаевич,

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: asokolnikov@bk.ru

Sokolnikov Aleksandr N., C. Sc. (Engineering), Associate Professor

Сибирский Федеральный Университет, Институт нефти и газа, 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 82, стр. 6

Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas, 82/6 Svobodny Ave, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

Аннотация. Стендовые и полигонные испытания моторных масел для двигателей внутреннего сгорания проводятся для уточнения выбора смазочного материала, осуществляемого по характеристикам, приведенным в справочной литературе, а также по классам вязкости и группам эксплуатационных свойств по классификации API, и требуют больших трудозатрат. Поэтому для сокращения трудоемкости и обоснования требований к моторным маслам по тепловым и механическим нагрузкам необходимы поиск новых методов получения дополнительной информации об их качестве и введение новых показателей. Целью настоящей работы является разработка графо-аналитического метода определения показателей качества моторных масел в широком температурном интервале. Для исследования было выбрано частично синтетическое моторное масло Роснефть Максимум 10W-40 SL/CF. Методика исследования предусматривала испытания моторного масла при трех температурах 180, 170 и 160° С. После каждых 8-ми часов испытания проба окисленного масла взвешивалась, определялась масса испарившегося масла, отбиралась часть пробы для прямого фотометрирования и определения оптической плотности, а часть окисленной пробы использовалась для определения кинематической вязкости. В результате проведенных исследований предложена графо-аналитическая модель определения показателей термоокислительной стабильности в широком диапазоне температур. Полученная информация позволит сравнивать различные масла по потенциальному ресурсу, критическим температурам окисления и испарения и температурным преобразованиям в смазочном материале, а также выявлять соответствие группам эксплуатационных свойств по классификации API.

Abstract. Bench and field tests of engine oils for internal combustion engines are conducted to clarify the choice of lubricant, carried out by the characteristics given in the literature, and also by viscosity grades and groups of operational properties according to API classification, and requires considerable work. Therefore, to reduce the complexity and justification of the requirements to motor oils by thermal and mechanical stresses, it is required to find new methods of getting more information about their quality and to introduce new indicators. The aim of this work is to develop a graphic analytical method of determining the quality of engine oils in a wide temperature range. For the study, a semi-synthetic engine oil Rosneft Max 10W-40 SL/CF was chosen. Methodology of the study included testing of motor oil at three temperatures 180, 170 and 160° C. After every 8 hours of testing, a sample of the oxidized oil was weighed to determine the mass of evaporated oil. Then, part of the sample was taken for direct photometry and determination of the optical density, and another part of the oxidized sample was used to determine the kinematic viscosity. The result of the study is the graphic analytical model proposed for determination of the indicators of oxidative stability in a wide temperature range. The information obtained will

allow to compare different oils by the potential resource, the critical temperatures of oxidation and evaporation and temperature changes in the lubricant, and to identify compliance groups, operational properties according to API classification.

Ключевые слова: термоокислительная стабильность, оптическая плотность, испаряемость, графо-аналитический метод расчета показателей термоокислительной стабильности, потенциальный ресурс.

Keywords: thermal oxidation stability, optical density, evaporability, graphic analytical method of calculation of thermal oxidation stability indicators, potential resource.

Введение. На рынке как отечественных, так и зарубежных производителей имеется широкий ассортимент моторных масел, и у потребителя возникает сложность выбора смазочного материала соответствующих характеристик и качества. Выбор моторных масел для двигателей внутреннего сгорания в основном осуществляется по характеристикам, приведенным в справочной литературе, а также по классам вязкости и группам эксплуатационных свойств по классификации API. Однако эта информация применяется для предварительного выбора [1], после которого моторные масла [2] проходят стендовые и полигонные испытания [3-5], что требует больших трудозатрат. Поэтому для сокращения трудоемкости и обоснования требований к моторным маслам по тепловым и механическим нагрузкам необходимы поиск новых методов получения дополнительной информации об их качестве [6] и введение новых показателей.

Целью настоящей работы является разработка графо-аналитического метода определения показателей качества моторных масел в широком температурном интервале.

Для исследования выбраны следующие средства испытания и контроля: прибор для термостатирования, фотометрическое устройство и электронные весы, техническая характеристика которых приведена в работе [7].

В качестве испытуемого моторного масла выбрано частично синтетическое моторное масло Роснефть Максимум 10W-40 SL/CF.

Методика исследования предусматривала испытания моторного масла при трех температурах 180, 170 и 160 °C, при этом проба масла постоянной массы (100±0,1 г) термостатировалась при атмосферном давлении с перемешиванием механической мешалкой с частотой вращения 300 об/мин в течение постоянного времени. В процессе испытания температура и частота вращения мешалки поддерживались автоматически. После каждых 8-ми часов испытания проба окисленного масла взвешивалась, определялась масса испарившегося масла G , отбиралась часть пробы (2 г) для прямого фотометрирования и определения оптической плотности D :

$$D = \lg \frac{300}{P}, \quad (1)$$

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

Часть окисленной пробы (9 г) использовалась для определения кинематической вязкости. После измерения этих показателей масло из кюветы фотометра сливалось в стакан прибора для термостатирования, который повторно взвешивался. Испытания продолжались до достижения оптической плотностью значений, равных 0,5-0,6.

При термостатировании изменялись значения оптической плотности и испаряемости, поэтому термоокислительная стабильность $\Pi_{ТОС}$ определялась суммой [8]:

$$\Pi_{ТОС} = D + K_G, \quad (2)$$

где K_G – коэффициент испаряемости исследуемого масла, определяемый отношением:

$$K_G = \frac{m}{M}, \quad (3)$$

где m – масса испарившегося масла за время испытания t , г, M – масса пробы до испытания, г.

Коэффициент термоокислительной стабильности [9-13] является безразмерным и характеризует количество тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления и испарения.

Результаты исследования и их обсуждение.

На рис. 1 представлены зависимости оптической плотности от времени и температуры испытания исследуемого масла. Установлено, что с понижением температуры испытания процессы окисления замедляются. Так, значение оптической плотности, равное 0,5, достигается при температуре 180 °C за 28 ч, при 170 °C – за 41 ч, при 160 °C – за 92 ч, т.е. понижение температуры от 180 до 160 °C увеличивает время окисления в 3,29 раза. Данные зависимости использованы для определения времени достижения оптической плотностью установленных значений, равных 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 (штриховые линии на рис. 1), по значениям которых определяются десятичные логарифмы и строятся зависимости этих логарифмов от температуры испытания (рис. 2). Данные зависимости описываются линейными уравнениями, поэтому с их помощью можно определить значения десятичных логарифмов времени для других температур, например, 150 °C (кривая 4) и 190 °C (кривая 5, рис. 1).

Регрессионные уравнения зависимостей $D = f(t)$ описываются полиномом второй степени для температур:

$$190\text{ °C } D = 0,0115t^2 - 0,05t + 0,0076, \quad (4)$$

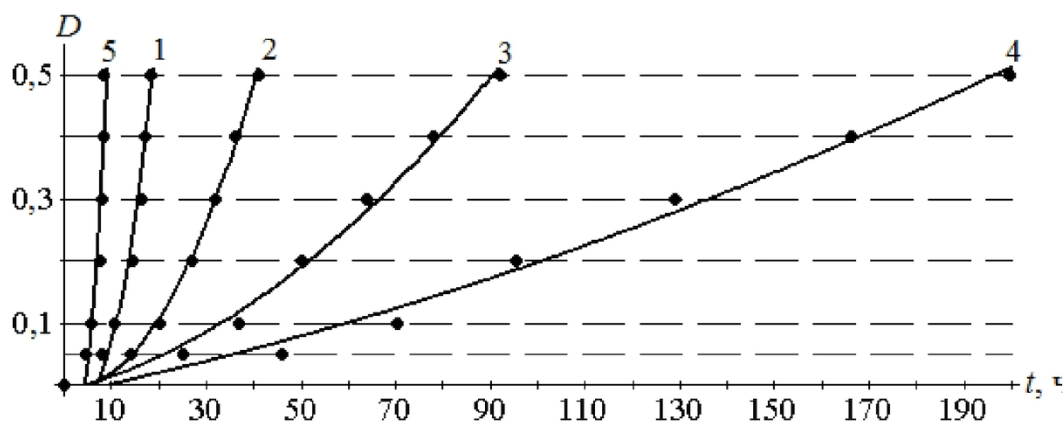


Рис. 1. Зависимости оптической плотности от времени и температуры испытания частично синтетического моторного масла Роснефть Максимум 10W-40 SL/CF:
1 – 180 °C; 2 – 170 °C; 3 – 160 °C; 4 – 150 °C; 5 – 190 °C

180 °C

$$D = 0,0023t^2 - 0,017t + 0,0097, (5)$$

170 °C

$$D = 0,000339t^2 - 0,00148t - 0,000025, (6)$$

160 °C

$$D = 0,00004t^2 + 0,002t - 0,011, (7)$$

150 °C

$$D = 0,0000051t^2 + 0,0016t - 0,015. (8)$$

Коэффициент корреляции изменяется в пределах от 0,91 до 0,998.

Точки пересечения зависимостей $\lg t_D$ с осью ординат определяют десятичный логарифм при температуре испытания 150 °C, а с осью абсцисс – критическую температуру при значении $D = 0,05$, которая составила для исследуемого масла 216 °C. Причем при определении антилогарифма значений $\lg t_D$ для любых температур определяется время достижения оптической плотностью установленных значений (0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5).

Используя зависимости $D = f(t)$ (рис. 1), можно определить изменение потенциального ресурса P в температурном диапазоне от 150 до 190

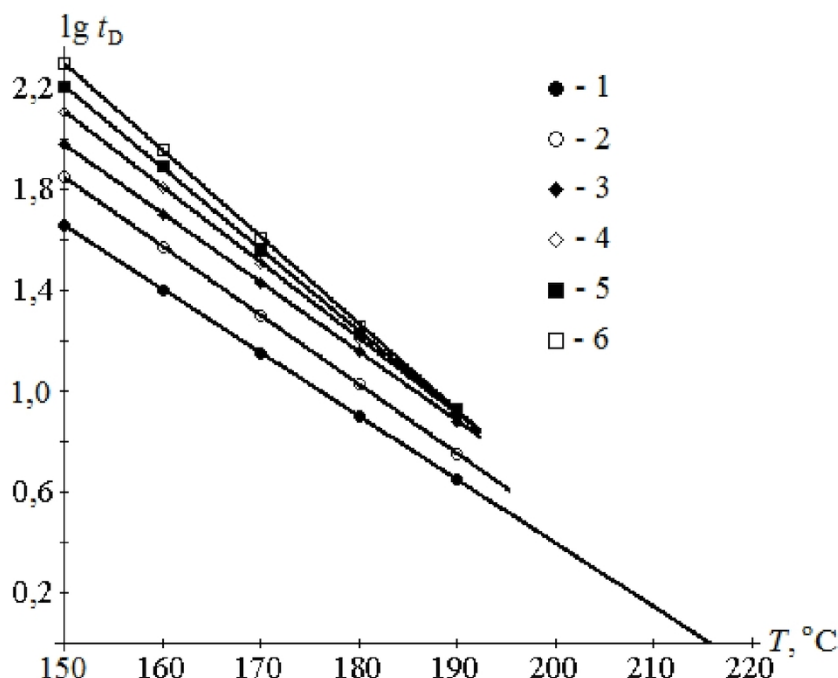


Рис. 2. Зависимости десятичного логарифма времени достижения оптической плотностью установленных значений от температуры испытания частично синтетического моторного масла Роснефть Максимум 10W-40 SL/CF:

1 – $D = 0,05$; 2 – $D = 0,1$; 3 – $D = 0,2$; 4 – $D = 0,3$; 5 – $D = 0,4$; 6 – $D = 0,4$

°C (рис. 3). Регрессионное уравнение зависимости

потенциального ресурса от температуры испытания описывается полиномом второй степени:

$$P = 0,1599T^2 - 58,91t + 5434,6. \quad (9)$$

Коэффициент корреляции составил 0,992.

Согласно данным (рис. 3), предельной температурой работоспособности [14] исследуемого масла является температура 170 °С.

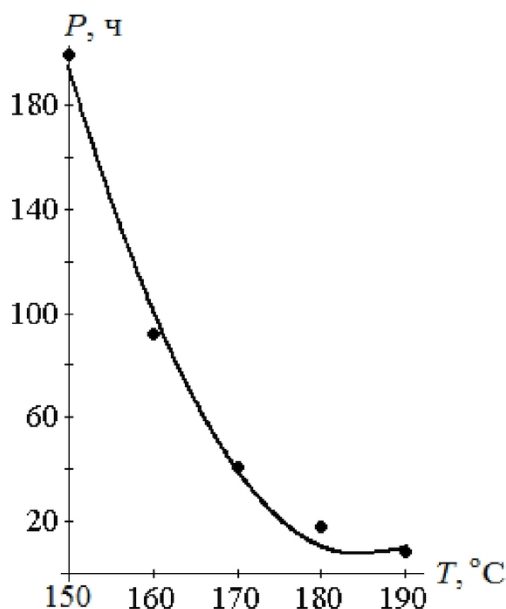


Рис. 3. Зависимость потенциального ресурса от температуры испытания частично синтетического моторного масла Роснефть Максимум 10W-40 SL/CF (при $D = 0,5$)

Аналогичные исследования проведены при определении испаряемости исследуемого масла (рис. 4). Зависимости $G = f(t)$ использованы для определения времени достижения испаряемостью установленных значений 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0 и 6,0 граммов, вычисления десятичных логарифмов их значений и построения зависимостей $\lg t_G = f(T)$ (рис. 5), по которым определяются значения $\lg t_G$ для температур 150 °С (кривая 4) и 190 °С (кривая 5), а по антилогарифмам этих значений вычисляется время достижения испаряемостью установленных значений для этих температур, а также критическая температура для испарения одного грамма масла по точке пересечения зависимости $\lg t_G$ с осью абсцисс (кривая 1, рис. 5), которая составила 226 °С.

Регрессионные уравнения зависимостей $G = f(t)$ (рис. 4) описываются полиномом второго порядка для температур:

190 °С

$$G = 0,018t^2 + 0,222t - 0,02, \quad (10)$$

180 °С

$$G = 0,0021t^2 + 0,189t - 0,028, \quad (11)$$

170 °С

$$G = -0,000014t^2 + 0,132t + 0,0034, \quad (12)$$

160 °С

$$G = -0,00015t^2 + 0,083t + 0,0652, \quad (13)$$

150 °С

$$G = -0,00009t^2 + 0,052t + 0,132. \quad (14)$$

Коэффициент корреляции изменяется от 0,994 до 0,099.

Аналогичным образом вычислялись значения коэффициентов термоокислительной стабильности $\Pi_{ТОС}$ для температур 150 и 190 °С (рис. 6).

Эти зависимости (рис. 6) использовались для вычисления времени достижения коэффициентом термоокислительной стабильности установленных значений: $\Pi_{ТОС} = 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5$ и $0,6$ (штриховые линии на рис. 6), по которым вычислялся десятичный логарифм и строились графические зависимости $\lg t_{\Pi_{ТОС}} = f(T)$ (рис. 7). Данные зависимости описываются линейными уравнениями, по которым определялись значения $\lg t_{\Pi_{ТОС}}$ для температур 150 и 190 °С, а антилогарифмы этих значений определяли время достижения коэффициентом термоокислительной стабильности установленных значений.

По этим значениям времени построены графические зависимости $\Pi_{ТОС} = f(t)$ для температур 150 °С (кривая 4) и 190 °С (кривая 5) (рис. 6). Точка пересечения зависимости $\lg t_{\Pi_{ТОС}}$ с осью абсцисс для коэффициента $\Pi_{ТОС} = 0,05$ определяет критическую температуру для исследуемого масла с учетом процессов окисления и испарения, которая составила 209 °С.

Регрессионные уравнения зависимостей $\Pi_{ТОС} = f(t)$ описываются полиномом второго порядка для температур:

190 °С

$$\Pi_{ТОС} = 0,014t^2 - 0,071t + 0,005, \quad (15)$$

180 °С

$$\Pi_{ТОС} = 0,0022t^2 - 0,015t + 0,016, \quad (16)$$

170 °С

$$\Pi_{ТОС} = 0,00029t^2 + 0,00097t - 0,0015, \quad (17)$$

160 °С

$$\Pi_{ТОС} = 0,000036t^2 + 0,0032t - 0,015, \quad (18)$$

150 °С

$$P_{ТОС} = 0,0000022t^2 + 0,0026t - 0,023. (19)$$

Коэффициент корреляции изменяется от 0,913 до 0,998.

Выводы. На основании приведенных исследований предложена графо-аналитическая модель

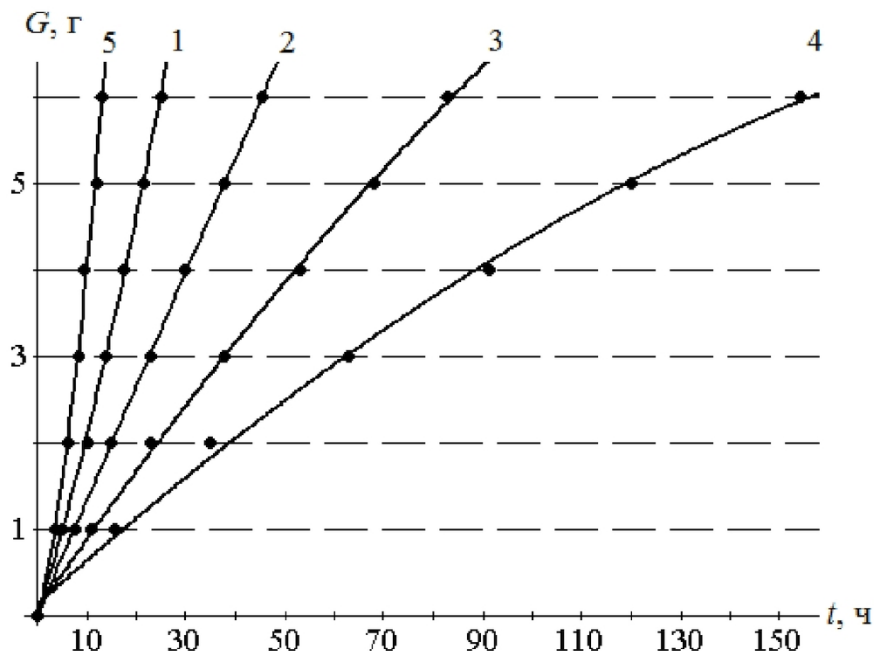


Рис. 4. Зависимости испаряемости от времени и температуры испытания частично синтетического моторного масла Роснефть Максимум 10W-40 SL/CF:
1 – 180 °C; 2 – 170 °C; 3 – 160 °C; 4 – 150 °C; 5 – 190 °C

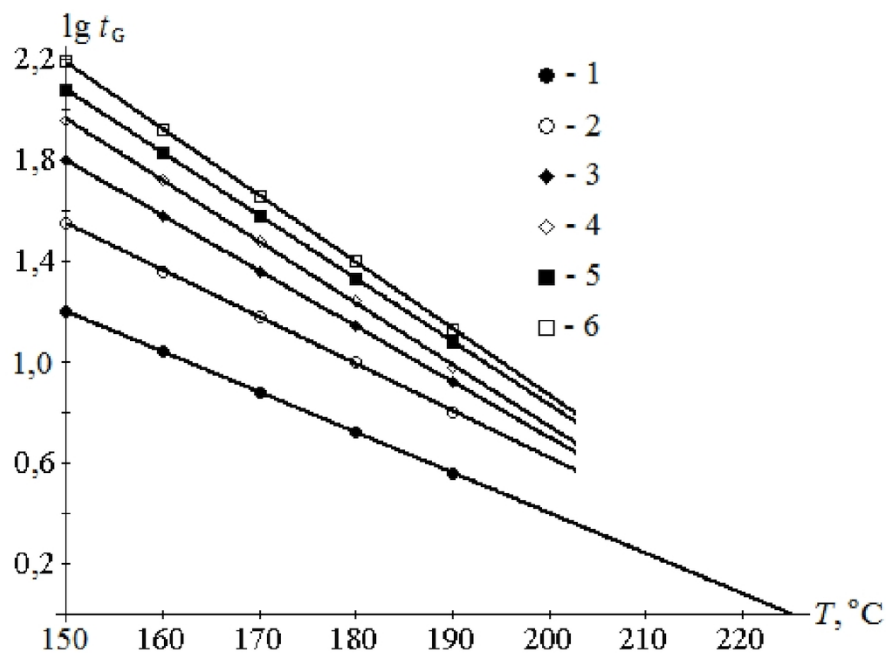


Рис. 5. Зависимости десятичного логарифма времени достижения испаряемостью установленных значений от температуры испытания частично синтетического моторного масла Роснефть Максимум 10W-40 SL/CF: 1 – $G = 1$ г; 2 – $G = 2$ г;
3 – $G = 3$ г; 4 – $G = 4$ г; 5 – $G = 5$ г; 6 – $G = 6$ г

определения показателей термоокислительной ста-
 бильности в широком диапазоне температур, вклю-

чающая определение оптической плотности, испа-
 ряемости и коэффициента термоокислительной

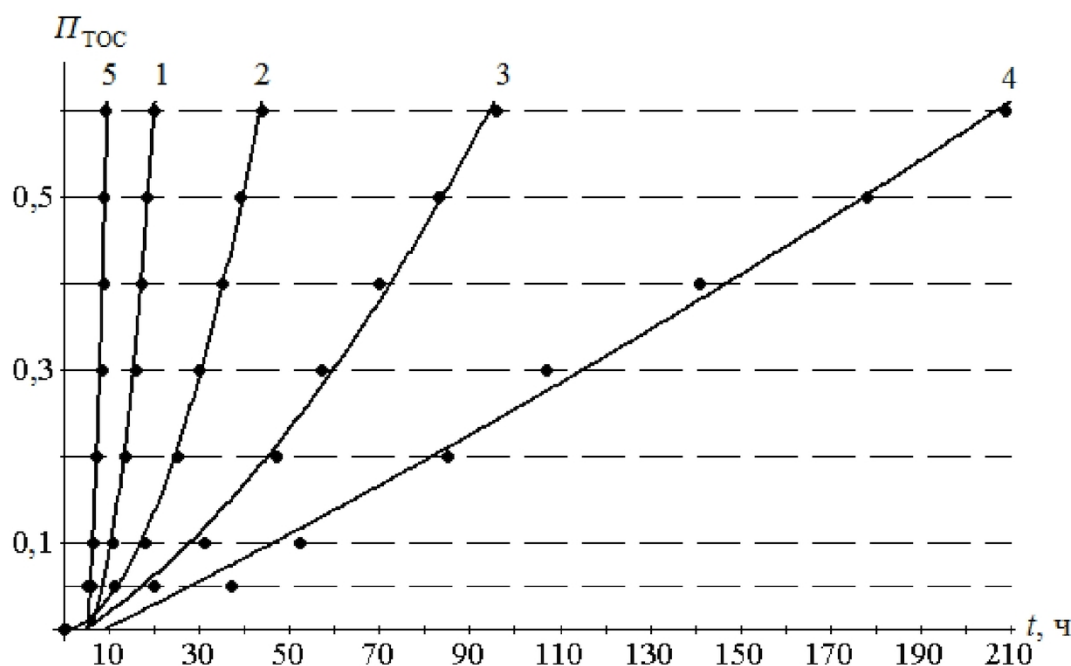


Рис. 6. Зависимости коэффициента термоокислительной стабильности от времени испытания частично синтетического моторного масла Роснефть Максимум 10W-40 SL/CF: 1 – 180 °C; 2 – 170 °C; 3 – 160 °C; 4 – 150 °C; 5 – 190 °C

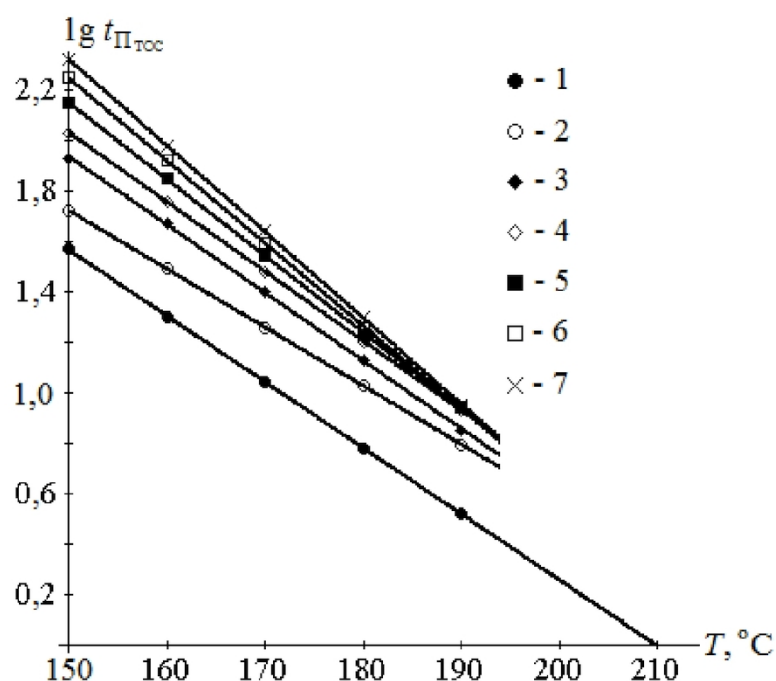


Рис. 7. Зависимости десятичного логарифма времени достижения коэффициентом термоокислительной стабильности установленных значений от температуры испытания частично синтетического моторного масла Роснефть Максимум 10W-40 SL/CF: 1 – $\Pi_{TOC} = 0,05$; 2 – $\Pi_{TOC} = 0,1$; 3 – $\Pi_{TOC} = 0,2$; 4 – $\Pi_{TOC} = 0,3$;

стабильности, определение критических температур для этих показателей и потенциального ресурса. Полученная информация позволит сравнивать различные масла по потенциальному ресурсу

[15], критическим температурам окисления и испарения и температурным преобразованиям в смазочном материале, а также выявлять соответствие группам эксплуатационных свойств по классификации API.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров О.Н. Предложения по выбору смазочных масел и совершенствованию системы их классификации/ О.Н. Петров, Б.И. Ковальский, В.Г. Шрам // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ. 2014, №3. – С. 42-50.
2. Черножуков Н. И. Технология переработки нефти и газа. Ч.3. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов. Под ред. А.А. Гуреева и Б.И. Бондаренко. – 6 изд., пер. и и доп. – М: Химия, 1978 г. – 424 с.
3. Маркова Л.В. Методы и средства диагностики рабочих свойств смазочного материала/ Л.В. Маркова, Н.К. Мышкин, М.С. Семенюк и др.// Трение и износ. 2003 (24), №5. – 523-233.
4. Смазочные материалы: Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: Справочник/ Р.М. Матвеевский, В.Л. Лашхи, И.А. Буяновский и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.
5. Новый метод оценки моющих свойств моторных масел / В. Д. Малыхин, И. К. Юнисов, П. В. Клишин, А. П. Латышев // Технологии нефти и газа. 2015, № 3 (98). – С. 60-63.
6. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов/ Г.Ф. Большаков. – Л: Недра, 1974. – 318 с.
7. Ковальский Б.И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б.И. Ковальский. – Новосибирск: Наука, 2005. – 341 с.
8. Пат. № 2371706 РФ. МПК G01N 25/00. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б.И. Ковальский, Е.А. Вишневская, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Малышева: опубл. 27.10.2009. Бюл. № 30.
9. Ковальский Б.И. Результаты контроля термоокислительной стабильности трансмиссионных масел различной базовой основы / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, В.С. Янович, Н.Н. Малышева, А.В. Юдин // Контроль. Диагностика. 2014, № 4 (190). – С. 74-76.
10. Ковальский, Б. И. Метод контроля процессов окисления моторных масел различной базовой основы / Б.И. Ковальский, А.Н. Сокольников, О.Н. Петров, В.Г. Шрам // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2016, №2. – С. 21-26.
11. Anietie, E. Ekot. Evaluation of the Thermooxidation Stabilities of Additive-free Automotive Crankcase Lube Oils / E. Ekot. Anietie, C. Goodwill // The IJES. 2014. - № 7. – P. 54-60.
12. CEC L-48-A00: Oxidation stability of lubricating oils used in automotive transmissions by artificial ageing. Coordinating European Council for the Development of Performance Tests for Fuels, Lubricants and Other Fluids; 2007.
13. STM D. 4742-08e1: Standard test method for oxidation stability of gasoline automotive engine oils by thin-film oxygen uptake (TFOUT). West Conshohocken (PA, USA): ASTM International; 2008.
14. ASTM D. 6335-09: Standard test method for determination of high temperature deposits by thermo-oxidation engine oil simulation test. West Conshohocken (PA, USA): ASTM International; 2009.
15. Остриков, В.В. Увеличение ресурса работающего моторного масла и повышение его противоизносных свойств / В.В. Остриков, И.В. Бусин, С.В. Попов // Труды ГОСНИТИ. 2012, Т. 109, №1. – С. 81-85.

REFERENCES

1. Petrov O.N. Predlozheniya po vyboru smazochnykh masel i sovershenstvovaniyu sistemy ikh klassifikatsii/ O.N. Petrov. B.I. Kovalskiy. V.G. Shram // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskkiye nauki. Tula: Izd-vo TulGU. 2014. №3. – pp. 42-50.
2. Chernozhukov N. I. Tekhnologiya pererabotki nefi i gaza. Ch.3. Ochistka i razdeleniye neftyanogo syria. proizvodstvo tovarnykh nefteproduktov. Pod red. A.A. Gureyeva i B.I. Bondarenko. – 6 izd.. per. i i dop. – M: Khimiya. 1978 g. – p. 424.
3. Markova L.V. Metody i sredstva diagnostiki rabochikh svoystv smazochnogo materiala/ L.V. Markova. N.K. Myshkin. M.S. Semenyuk i dr.// Treniye i iznos. 2003 (24). №5. – pp. 523-233.
4. Smazochnyye materialy: Antifriktsionnyye i protivooiznosnyye svoystva. Metody ispytaniy: Spravochnik/ R.M. Matveyevskiy. V.L. Lashkhi. I.A. Buyanovskiy i dr. – M.: Mashinostroyeniye. 1989. – p. 224.

5. Novyy metod otsenki moyushchikh svoystv motornykh masel / V. D. Malykhin, I. K. Yunisov, P. V. Klishin, A. P. Latyshev // *Tekhnologii nefi i gaza*. 2015. № 3 (98). – pp. 60-63.
6. Bolshakov G.F. Vosstanovleniye i kontrol kachestva nefteproduktov/ G.F. Bolshakov. – L: Nedra. 1974. – p. 318.
7. Kovalskiy B.I. Metody i sredstva povysheniya effektivnosti ispolzovaniya smazochnykh materialov / B.I. Kovalskiy. – Novosibirsk: Nauka. 2005. – p. 341.
8. Pat. № 2371706 RF. MPK GOIN 25/00. Sposob opredeleniya termookislitelnoy stabilnosti smazochnykh materialov / B.I. Kovalskiy, E.A. Vishnevskaya, Yu.N. Bezborodov, N.N. Malysheva: opubl. 27.10.2009 Byul. № 30.
9. Kovalskiy B.I. Rezultaty kontrolya termookislitelnoy stabilnosti transmissionnykh masel razlichnoy bazovoy osnovy / B.I. Kovalskiy, Yu.N. Bezborodov, V.S. Yanovich, N.N. Malysheva, A.V. Yudin // *Kontrol. Diagnostika*. 2014. № 4 (190). – S. 74-76.
10. Kovalskiy, B. I. Metod kontrolya protsessov okisleniya motornykh masel razlichnoy bazovoy osnovy / B.I. Kovalskiy, A.N. Sokolnikov, O.N. Petrov, V.G. Shram // *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompaniy*. 2016. №2. – S. 21-26.
11. Anietie, E. Ekot. Evaluation of the Thermooxidation Stabilities of Additive-free Automotive Crankcase Lube Oils / E. Ekot, Anietie, C. Goodwill // *The IJES*. 2014. - № 7. – P. 54-60.
12. CEC L-48-A00: Oxidation stability of lubricating oils used in automotive transmissions by artificial ageing. Coordinating European Council for the Development of Performance Tests for Fuels, Lubricants and Other Fluids; 2007.
13. STM D. 4742-08e1: Standard test method for oxidation stability of gasoline automotive engine oils by thin-film oxygen uptake (TFOUT). West Conshohocken (PA, USA): ASTM International; 2008.
14. ASTM D. 6335-09: Standard test method for determination of high temperature deposits by thermo-oxidation engine oil simulation test. West Conshohocken (PA, USA): ASTM International; 2009.
15. Ostrikov, V.V. Uvelicheniye resursa rabotayushchego motornogo masla i povysheniye ego protivoznosnykh svoystv / V.V. Ostrikov, I.V. Busin, S.V. Popov // *Trudy GOSNITI*. 2012. T. 109. №1. – S. 81-85.

Поступило в редакцию 15.08.2017

Received 15.08.2017