

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2020-86-3-32-38>

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ

© **Болеслав Иванович Ковальский, Юрий Николаевич Безбородов, Наталья Николаевна Лысянникова*, Екатерина Геннадьевна Кравцова, Вячеслав Геннадьевич Шрам, Алексей Васильевич Лысянников**

Сибирский федеральный университет; Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный 79; *e-mail: nataly.nm@mail.ru

Статья поступила 10 апреля 2019 г. Поступила после доработки 21 октября 2019 г. Принята к публикации 24 октября 2019 г.

Современные методы классификации моторных масел по классам вязкости и группам эксплуатационных свойств не позволяют получить необходимую информацию о температурной области работоспособности и склонности масла к старению из-за конструктивных особенностей двигателей внутреннего сгорания, режимов и условий эксплуатации, степени форсирования и технического состояния. Одна из основных задач повышения технических и эксплуатационных показателей проектируемой и эксплуатируемой техники — подбор соответствующих смазочных материалов, оптимальных режимов эксплуатации и режимов смазки. В работе представлены результаты исследования влияния температуры на работоспособность смазочных материалов, приведены обзор и анализ методов их контроля. Температурные параметры работоспособности определяли методом термостатирования, в качестве средств измерения использовали фотометрическое устройство для прямого фотометрирования окисленных масел и электронные весы. По результатам испытаний образца частично синтетического моторного масла оценивали оптическую плотность и коэффициент испаряемости смазочного материала. Полученные данные использовали для построения временных и температурных зависимостей оптической плотности, определения коэффициента сопротивления окислению, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности испытуемого образца. Проведенные исследования позволили оценить температурные пределы работоспособности моторного масла, включающие температуры начала процессов окисления и температурных преобразований, критические температуры этих процессов, и его потенциальный ресурс. Предложенный метод обеспечивает возможность сравнения различных смазочных материалов одного назначения по температурным параметрам и определения температурной области их работоспособности для эффективного использования в механических системах.

Ключевые слова: оптическая плотность; испаряемость; коэффициент термоокислительной стабильности; потенциальный ресурс; термостатирование; температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований.

MONITORING OF THE TEMPERATURE PARAMETERS OF THE LUBRICANT PERFORMANCE USING THERMOSTATING PROCEDURE

© **Boleslav I. Kovalsky, Yuriy N. Bezborodov, Natalya N. Lysyannikova*, Ekaterina G. Kravtsova, Vyacheslav G. Shram, Alexey V. Lysyannikov**

Siberian Federal University; Svobodny pr. 79, Krasnoyarsk, 660041, Russia; *e-mail: nataly.nm@mail.ru

Received April 10, 2019. Revised October 21, 2019. Accepted October 24, 2019.

Modern methods for classifying motor oils by viscosity classes and groups of the performance properties are characterized by the lack of information about the temperature range of the oil working capacity and tendency to aging due to the design features of internal combustion engines, operating modes and conditions, the degree of forcing and technical condition. One of the main goals of improving the technical and operational indicators of the designed and operated equipment is the selection of appropriate lubricants, the proper choice of optimal modes of operation and lubrication. We present the results of studying the effect of temperature on the performance of lubricants, review and analyze methods for their control. The

temperature parameters of the working capacity of lubricants are determined by the method of thermostating. A photometric device for direct photometry of oxidized oils and electronic weighing machine were used as measuring instruments. The optical density and evaporation coefficient of the lubricant were estimated proceeding from the results of testing a sample of partially synthetic motor oil. The temperature and time dependences of the optical density, oxidation resistance coefficient, volatility, thermal oxidation stability coefficient, and temperature limits for the test specimen were determined, including the temperatures of the onset of oxidation, evaporation and temperature transformations, critical temperatures of the processes considered and potential in-service life. The proposed method provides the ability to compare various lubricants of the same duty by the temperature parameters and determine the temperature range of their efficient use in mechanical systems.

Keywords: optical density; volatility; coefficient of thermo-oxidative stability; potential lifetime; thermostating; temperatures of the onset of oxidation, evaporation and temperature transformations.

Введение

В настоящее время промышленность производит огромный ассортимент смазочных материалов различного назначения. Наибольшее распространение получили нефтяные масла, однако их недостаток — плохие низкотемпературные свойства, неудовлетворительные термическая и окислительная стабильности.

Современная техника предъявляет к смазочным маслам новые повышенные требования. Условия работы сопряженных трущихся деталей весьма разнообразны — одни узлы работают при высоких относительных скоростях, другие — в условиях сильных контактных давлений. В одних случаях имеют место высокие температуры, в других, наоборот, происходит сильное охлаждение. Вместе с тем ни один из физико-химических параметров смазочного масла, входящих в технические условия (вязкость, коксуемость, кислотное число, зольность, температура вспышки), не дает возможности оценить его «моторные» качества т.е. не гарантирует, что масло обеспечит удовлетворительную работу мотора.

Методы контроля смазочных материалов, широко применяемые в технологических процессах их производства, могут включать оптические, электрометрические, микроскопические, седиментационные, полярографические, спектральные и акустические исследования, определение массы твердых загрязнений (ГОСТ 12275–66, ГОСТ 6370–83) и влагосодержания [1–9]. При этом могут использоваться специальные машины трения (например, метод с применением трехшариковой машины трения) [10–11], акустические способы определения коэффициента поглощения ультразвука масляной средой [12, 13] и др.

Основные эксплуатационные свойства моторных масел зависят от температуры на поверхностях трения [17, 18], а показателем их качества в данном случае может служить температурная стойкость, характеризующая способность смазки разделять поверхности трения при интенсивном тепловыделении [14–16].

Цель работы — исследование влияния температуры на работоспособность моторных масел с использованием метода термостатирования.

Материалы, оборудование, методика

Исследовали образец частично синтетического моторного масла Total Quartz 10W-40 SL/CF. Использовали прибор для термостатирования, фотометрическое устройство для прямого фотометрирования окисленных масел, электронные весы [19, 20].

Пробу массой $100 \pm 0,1$ г термостатировали последовательно при температурах 190, 180, 170 и 160 °C с перемешиванием стеклянной мешалкой. Температуру испытания и частоту вращения мешалки поддерживали автоматически с помощью терморегулятора и стабилизированного источника питания микродвигателя. Через равные промежутки времени (в нашем случае 8 ч) пробу взвешивали и определяли массу испарившегося масла.

Коэффициент испаряемости вычисляли по формуле [21–23]

$$K_G = m/M, \quad (1)$$

где m , M — массы испарившегося масла за 8 ч испытания и пробы до испытания.

Затем часть пробы (2 г) отбирали для фотометрирования (толщина фотометрического слоя составляла 2 мм) и определения оптической плотности

$$D = \lg(300/I), \quad (2)$$

где 300 и I — показания фотометра при отсутствии пробы в кювете и при заполненной кювете.

После фотометрирования масло из кюветы сливали в стакан прибора для термостатирования. Испытания прекращали по достижении оптической плотности значения 0,5 при температуре 160 °C.

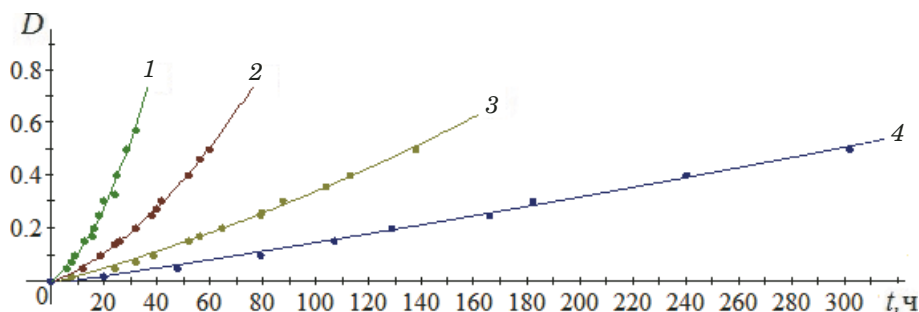


Рис. 1. Зависимости $D(t)$ при температурах испытания 190 (1), 180 (2), 170 (3) и 160 °C (4)

Fig. 1. Dependence $D(t)$ at different testing temperatures 190 (1), 180 (2), 170 (3), and 160 °C (4)

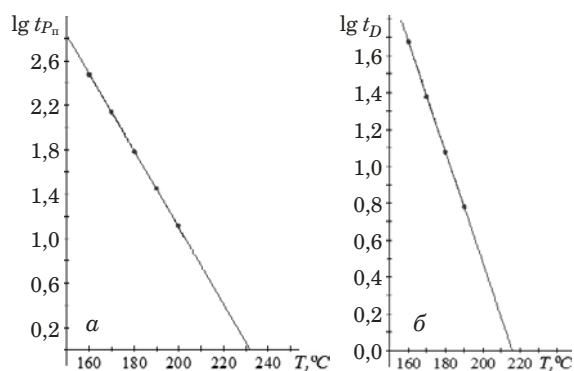


Рис. 2. Зависимости десятичного логарифма времени достижения D значений 0,5 (а) и 0,05 (б) от температуры

Fig. 2. Dependence of the decimal logarithm of the time when the optical density reaches the values 0.5 (a) and 0.05 (b) on the temperature

Обсуждение результатов

На рис. 1 представлены зависимости оптической плотности от времени при различных температурах испытания исследуемого образца. Кривые описываются полиномом второго порядка, регрессионные уравнения имеют вид:

$$D = 3,5559 \cdot 10^{-4}t^2 + 0,0069t - 0,0022 \quad (190 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (3)$$

$$D = 7,4028 \cdot 10^{-5}t^2 + 0,004t - 0,0064 \quad (180 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (4)$$

$$D = 7,5408 \cdot 10^{-6}t^2 + 0,0027t - 0,0092 \quad (170 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (5)$$

$$D = 7,7286 \cdot 10^{-7}t^2 + 0,0014t - 0,0118 \quad (160 \text{ } ^\circ\text{C}). \quad (6)$$

Влияние температуры на процессы окисления оценивали с помощью такого показателя,

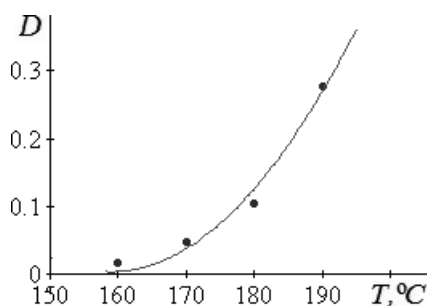


Рис. 3. Зависимость $D(T)$ после 20 ч испытания

Fig. 3. Dependence $D(T)$ after 20-h testing

как потенциальный ресурс P_{Π} (определяется временем достижения оптической плотности значения 0,5 при каждой температуре испытания). На рис. 2 приведены зависимости десятичного логарифма времени достижения D значений 0,5 и 0,05 от температуры. Точки пересечения зависимостей с осями абсцисс — критические температуры потенциального ресурса и окисления (233 и 216 °C соответственно). Они важны для оценки эксплуатационных свойств смазочных материалов и их сравнения.

Линейные уравнения, описывающие зависимости, следующие:

$$\lg t_{P_{\Pi}} = 0,03397(233 - T), \quad (7)$$

$$\lg t_D = 0,03(216 - T), \quad (8)$$

где 0,03397, 0,03 — коэффициенты, характеризующие скорость изменения P_{Π} и D ; 233, 216 — критические температуры P_{Π} и окисления.

Используя (7) и (8), можно определить десятичный логарифм времени достижения D значений 0,5 и 0,05 при любой температуре, а следовательно, и продолжительность испытания и окисления. Например, при 200 °C $\lg t_{P_{\Pi}} = 1,1$, а $\lg t_D = 0,47$. Соответственно, время испытания составляет 12,59, а время окисления — 2,95 ч.

Температуру начала процесса окисления определяли по зависимости $D(T)$ после 20 ч тер-

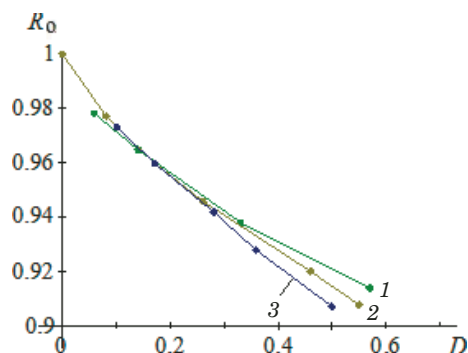


Рис. 4. Зависимость $R_0(D)$ при температурах испытания 180 (1), 170 (2) и 160 °C (3)

Fig. 4. Dependence $R_0(D)$ at different testing temperatures 180 (1), 170 (2) and 160 °C (3)

мостатирования исследуемого образца (рис. 3). Регрессионное уравнение зависимости

$$D = 2,759 \cdot 10^{-4}T^2 + 0,088T + 6,98. \quad (9)$$

Получили, что температура начала окисления составила 158 °C.

Влияние температуры на свойства продуктов окисления оценивали по значению коэффициента сопротивляемости окислению

$$R_0 = 1 - DK_G/(D + K_G), \quad (10)$$

где 1 — характеризует потенциальную энергию сопротивляемости товарного масла окислению; K_G — коэффициент, характеризующий испарение.

Зависимости R_0 от оптической плотности и температуры термостатирования представлены на рис. 4. Видно, что в начальный период окисления в диапазоне изменения D 0 – 0,2 коэффициент R_0 не зависит от температуры испытания. В этот период образуются первичные продукты

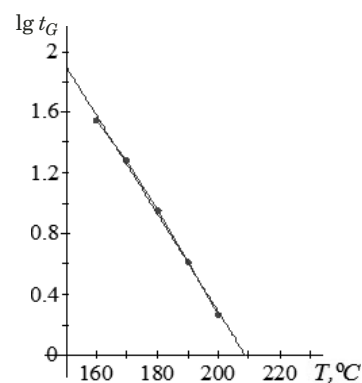


Рис. 6. Зависимость $\lg t_G$ от температуры

Fig. 6. Temperature dependence of $\log t_G$

окисления, которые оказывают одинаковое влияние на оптическую плотность.

С увеличением оптической плотности ($D > 0,2$) влияние температуры испытания на сопротивляемость масла окислению возрастает. При одних и тех же значениях оптической плотности чем ниже температура испытания, тем ниже сопротивляемость образца окислению. В этот период образуются вторичные продукты окисления, возникающие в результате доокисления первичных и характеризующиеся большей энергоемкостью.

На рис. 5 приведены зависимости испаряемости G от времени. Регрессионные уравнения кривых:

$$G = -0,0041t^2 + 0,4415263t + 0,1346 \quad (190 \text{ °C}), \quad (11)$$

$$G = -9,0043 \cdot 10^{-4}t^2 + 0,2142t + 0,1422 \quad (180 \text{ °C}), \quad (12)$$

$$G = -1,6568 \cdot 10^{-4}t^2 +$$

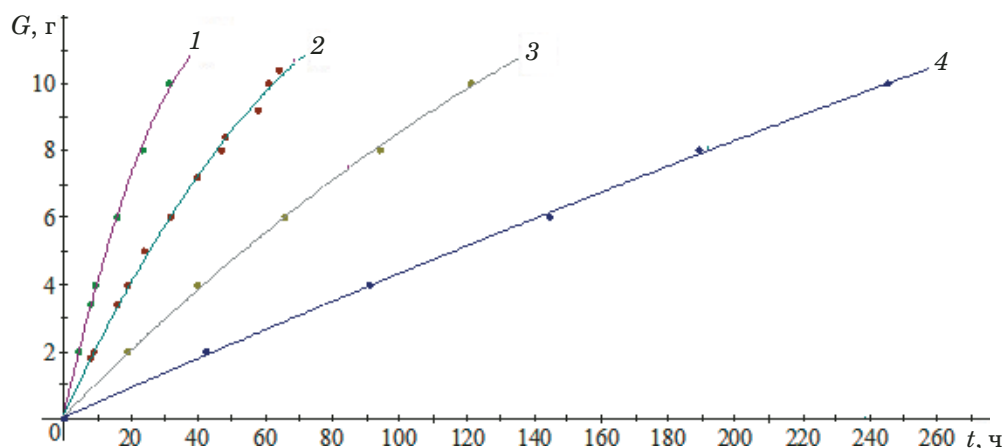


Рис. 5. Зависимости $G(t)$ при температурах испытания 190 (1), 180 (2), 170 (3) и 160 °C (4)

Fig. 5. Dependence $G(t)$ at different temperatures 190 (1), 180 (2), 170 (3) and 160 °C (4)

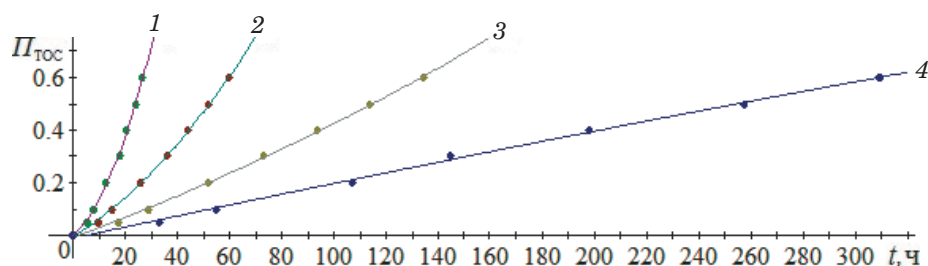


Рис. 7. Зависимости $\Pi_{\text{ТОС}}(t)$ при температурах испытания 190 (1), 180 (2), 170 (3) и 160 °C (4)

Fig. 7. Dependence $\Pi_{\text{ТОС}}(t)$ at different testing temperatures 190 (1), 180 (2), 170 (3) and 160 °C (4)

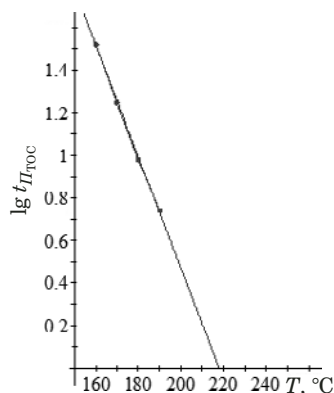


Рис. 8. Зависимость $\lg t_{\Pi_{\text{ТОС}}}$ от температуры

Fig. 8. Temperature dependence of $\log t_{\Pi_{\text{ТОС}}}$

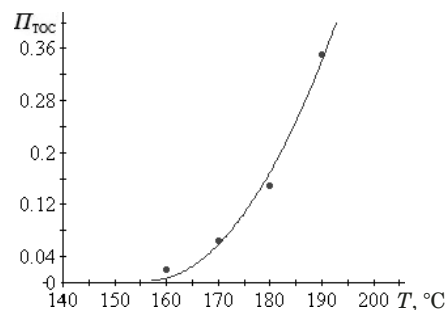


Рис. 9. Зависимость $\Pi_{\text{ТОС}}(T)$ после 20 ч термостатирования

Fig. 9. Dependence $\Pi_{\text{ТОС}}(T)$ after thermostating for 20 h

ности $\Pi_{\text{ТОС}}$ испытуемого образца. Регрессионные уравнения зависимостей:

$$+ 0,1013t + 0,0804 \text{ (170 °C)}, \quad (13)$$

$$G = -1,608 \cdot 10^{-5}t^2 +$$

$$+ 0,0445t + 0,0468 \text{ (160 °C)}. \quad (14)$$

По (11) – (14) рассчитывали зависимость десятичного логарифма времени испарения 2 г масла $\lg t_G$ от температуры (рис. 6). Пересечение с осью абсцисс — критическая температура испарения (составила 208 °C).

Зависимость $\lg t_G(T)$ описывается линейным уравнением

$$\lg t_G = 0,03396(208 - T), \quad (15)$$

где 0,03396 — коэффициент, характеризующий скорость изменения $\lg t_G$; 208 — критическая температура испарения.

С помощью $\lg t_G(T)$ и формулы (15) можно определить время испарения 2 г масла при различных температурах. Например, при 200 °C $\lg t_G$ составляет 0,27, следовательно, время испытания — 1,86 ч, т.е. за это время при температуре 200 °C испарится 2 г смазочного материала.

На рис. 7 представлены временные зависимости коэффициента термоокислительной стабиль-

$$\Pi_{\text{ТОС}} = 5,2015 \cdot 10^{-4}t^2 +$$

$$+ 0,0084t - 0,0023 \text{ (190 °C)}, \quad (16)$$

$$\Pi_{\text{ТОС}} = 6,7835 \cdot 10^{-5}t^2 +$$

$$+ 0,0061t - 0,0059 \text{ (180 °C)}, \quad (17)$$

$$\Pi_{\text{ТОС}} = 6,5529 \cdot 10^{-6}t^2 +$$

$$+ 0,0036t - 0,0086 \text{ (170 °C)}, \quad (18)$$

$$\Pi_{\text{ТОС}} = -5,1093 \cdot 10^{-7}t^2 +$$

$$+ 0,0021t - 0,011 \text{ (160 °C)}. \quad (19)$$

Используя (16) – (19), можно определить время достижения $\Pi_{\text{ТОС}}$ значения 0,05, при котором влияние продуктов окисления на оценку критических температур окисления и температурных преобразований отсутствует.

На рис. 8 приведена зависимость десятичного логарифма времени достижения $\Pi_{\text{ТОС}}$ значения 0,05 от температуры преобразований. Как и в предыдущих случаях, пересечение кривой с осью абсцисс — критическая температура преобразо-

ваний (составила 217 °С). Зависимость описывается линейным уравнением

$$\lg t_{\Pi_{\text{ТОС}}} = 0,02667(217 - T), \quad (20)$$

где 0,02667 — коэффициент, характеризующий скорость измерения $\lg t_{\Pi_{\text{ТОС}}}$; 217 — критическая температура преобразований.

Температуру начала процессов преобразования определяли по зависимости $\Pi_{\text{ТОС}}(T)$ после 20 ч термостатирования (рис. 9). Зависимость описывается регрессионным уравнением

$$\Pi_{\text{ТОС}} = 3,29 \cdot 10^{-4}T^2 - 0,104T + 8,23. \quad (21)$$

Получим, что температура начала процессов преобразования в исследуемом образце составила 158 °С.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что предложенный метод позволяет контролировать температурные параметры работоспособности моторного масла и определять температурные области его применения. Кроме того, данные о температурах начала процессов окисления и температурных преобразованиях, критических температурах и потенциальном ресурсе дают возможность сравнивать смазочные материалы одного назначения и, соответственно, делать обоснованный выбор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меньшов П. А., Иванов В. С., Логинов В. Н. Об определении цвета нефтепродуктов / Химия и технология топлив и масел. 1981. № 4. С. 45 – 48.
2. Гольдберг Д. О. Контроль производства масел и парафинов. — М.: Химия, 1964. — 248 с.
3. Шелабанов М. М., Онищенко Л. Н., Михин Н. М. О реализации электрооптических эффектов для дисперсных систем с частицами износа / Трение и износ. 1982. Т. 3. № 2. С. 331 – 334.
4. Петросянц А. А., Белоусова В. Я., Саркисов В. С. Повышение долговечности двигателей газонефтепромышленного оборудования. — М.: Недра, 1976. — 112 с.
5. Коваленко В. П. Загрязнения и очистка нефтяных масел. — М.: Химия, 1978. — 304 с.
6. Большаков Г. Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. — Л.: Недра, 1974. — 320 с.
7. Доломатов М. Ю., Шуляковская Д. О., Манапов Р. С. О возможности определения относительной плотности масляных фракций по фотоизображениям / Химия и технология топлив и масел. 2015. № 3. С. 51 – 53.
8. Чудиновских А. Л. Химмотологический принцип оценки склонности автомобильных моторных масел к образованию отложений / Химия и технология топлив и масел. 2015. № 3. С. 3 – 6.
9. Gracia N., Thomas S., Bazin P., Duponchel L., Thibault-Starzyk F., Lerasle O. Combination of mid-infrared spectroscopy and chemometric factorization tools to study the oxidation of lubricating base oils / Catalysis Today. 2010. Vol. 155. P. 255 – 60.
10. Пат. 2428677 РФ, МПК G01N 19/02. Устройство для испытания трущихся материалов и масел / Б. И. Ковальский,

- Ю. Н. Безбородов, О. Н. Петров, В. И. Тихонов; заявитель и патентообладатель Сибирский федеральный университет. — № 2010119754/28; заявл. 17.05.2010; опубл. 10.09.2011. Бюл. № 25.
11. Ермилов Е. А., Балясников В. А., Олейник В. З., Агровиченко Д. В. Оценка влияния процессов окисления и температурной деструкции на противоизносные свойства моторных масел / Тенденции развития науки и образования. 2017. № 24 – 2. С. 21 – 25.
12. Берденников А. И., Громаковский Д. Г. Диссипативные, упругие и смазочные свойства рабочих жидкостей систем гидравлики / Трение и износ. 1983. Т. 4. № 3. С. 476 – 482.
13. Макухаров Ю. С., Михайлов И. Г. Измерение поглощения ультразвуковых волн в жидкостях на частотах 50 кГц – 4 МГц / Акустический журнал. 1974. Т. 20. № 2. С. 288 – 291.
14. Матвеевский Р. М., Буяновский И. А., Лозовская О. В. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки. — М.: Наука, 1978. — 192 с.
15. Матвеевский Р. М., Иоффе Г. А., Буяновский И. А. Исследование износостойкости пар трения, применяемых в приводах автомобильных стартеров / Вестник машиностроения. 1975. № 4. С. 22 – 25.
16. Мышкин Н. К., Кончиц В. В. К определению температурной стойкости граничных слоев / Трение и износ. 1981. Т. 11. № 4. С. 725 – 728.
17. Венцель С. В. Смазка двигателей внутреннего сгорания. — Киев: Машгиз, 1963. — 180 с.
18. Лашхи В. Л., Чудиновских А. Л., Салутенева В. А. Масло как сложная коллоидная система / Мир нефтепродуктов. 2015. № 9. С. 32 – 35.
19. Пат. 2057326 РФ, МПК G 01 N 25/02. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б. И. Ковальский, Л. Н. Деревягина, И. А. Кириченко; заявитель и патентообладатель Красноярский ПромстройНИИ-проект. — № 925046019; заявл. 04.06.1992; опубл. 27.03.1996. Бюл. № 9.
20. Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Фельдман Л. А., Мальшева Н. Н. Термоокислительная стабильность трансмиссионных масел. — Красноярск: Сиб. Фед. Ун-т, 2011. — 150 с.
21. Ковальский Б. И., Янович В. С., Петров О. Н. Оптический метод контроля термоокислительной стабильности трансмиссионных масел / Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 11. С. 302 – 311.
22. Сорокин Г. М., Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Мальшева Н. Н. Термоокислительная стабильность трансмиссионного масла ТСгип / Вестник машиностроения. 2008. № 6. С. 30.
23. Васильев С. И., Попов А. С., Ковальский Б. И. Метод и средства контроля ресурса моторных масел / Системы. Методы. Технологии. 2010. № 5. С. 117 – 123.

REFERENCES

1. Menshov P. A., Ivanov V. S., Loginov V. N. On determining the color of petroleum products / Khim. Tekhnol. Topl. Masel. 1981. N 4. P. 45 – 48 [in Russian].
2. Goldberg D. O. Control of oil and paraffin production. — Moscow: Khimiya, 1964. — 248 p. [in Russian].
3. Shelabanov M. M., Onishchenko L. N., Mikhin N. M. On the implementation of electro-optical effects for disperse systems with wear / Trenie Iznos. 1982. Vol. 3. N 2. P. 331 – 334 [in Russian].
4. Petrosyants A. A., Belousova V. Ya., Sarkisov V. S. Increase of durability of engines of the gas and oil field equipment. — Moscow: Nedra, 1976. — 112 p. [in Russian].
5. Kovalenko V. P. Pollution and purification of petroleum oils. — Moscow: Khimiya, 1978. — 304 p. [in Russian].
6. Bolshakov G. F. Restoration and quality control of oil products. — Leningrad: Nedra, 1974. — 320 p. [in Russian].
7. Dolomatov M. Yu., Shulyakovskaya D. O., Manapov R. S. On the possibility of determining the relative density of oil frac-

- tions from photographs / Khim. Tekhnol. Topl. Masel. 2015. N 3. P. 51 – 53 [in Russian].
8. **Chudinovskikh A. L.** Chemotological principle for assessing the tendency of automobile motor oils to form deposits / Khim. Tekhnol. Topl. Masel. 2015. N 3. P. 3 – 6 [in Russian].
 9. **Gracia N., Thomas S., Bazin P., Duponchel L., Thibault-Starzyk F., Lerasle O.** Combination of mid-infrared spectroscopy and chemometric factorization tools to study the oxidation of lubricating base oils / Catalysis Today. 2010. Vol. 155. P. 255 – 60.
 10. Pat. 2428677 RF, **IPK G01N 19/02**. Device for testing rubbing materials and oils / B. I. Kovalsky, Yu. N. Bezborodov, O. N. Petrov, V. I. Tikhonov; applicant and owner Siberian Federal University. — N 2010119754/28; appl. 17.05.2010; publ. 10.09.2011. Bull. N 25 [in Russian].
 11. **Ermilov E. A., Balyasnikov V. A., Oleynik V. Z., Agrovichenko D. V.** Assessment of the influence of oxidation processes and temperature degradation on the antiwear properties of motor oils / Tend. Razv. Nauki Obrazov. 2017. N 24 – 2. P. 21 – 25 [in Russian].
 12. **Berdennikov A. I., Gromakovsky D. G.** Dissipative, elastic and lubricating properties of hydraulic fluids / Trenie Iznos. 1983. Vol. 4. N 3. P. 476 – 482 [in Russian].
 13. **Manucharov Yu. S., Mikhailov I. G.** Measurement of absorption of ultrasonic waves in liquids at frequencies of 50 kHz – 4 MHz / Akust. Zh. 1974. Vol. 20. N 2. P. 288 – 291 [in Russian].
 14. **Matveevsky P. M., Buyanovsky I. A., Lozovskaya O. V.** Extreme pressure resistance of lubricating media under friction in the boundary lubrication mode. — Moscow: Nauka, 1978. — 192 p. [in Russian].
 15. **Matveevsky R. M., Ioffe G. A., Buyanovsky I. A.** The study of the wear resistance of friction pairs used in the drives of automobile starters / Vestn. Mashinostr. 1975. N 4. P. 22 – 25 [in Russian].
 16. **Myshkin N. K., Konchits V. V.** To determination of temperature resistance of boundary layers / Trenie Iznos. 1981. Vol. 11. N 4. P. 725 – 728 [in Russian].
 17. **Wentsel S. V.** Lubrication of internal combustion engines. — Kiev: Mashgiz, 1963. — 180 p. [in Russian].
 18. **Lashkhi V. L., Chudinovskikh A. L., Saluteneva V. A.** Oil as a complex colloidal system / Mir Nefteprod. 2015. N 9. P. 32 – 35 [in Russian].
 19. Pat. 2057326 RF, **MPK G 01 N 25/02**. Method for determining the thermo-oxidative stability of lubricants / B. I. Kovalsky, L. N. Derevyagina, I. A. Kirichenko; applicant and owner PromstroinIIproect, Krasnoyarsk. — N 925046019; appl. 04.06.1992; publ. 27.03.1996. Bull. N 9 [in Russian].
 20. **Kovalsky B. I., Bezborodov Yu. N., Feldman L. A., Malyshcheva N. N.** Thermo-oxidative stability of transmission oils. — Krasnoyarsk: Sib. Fed. Univ., 2011. — 150 p. [in Russian].
 21. **Kovalsky B. I., Yanovich V. S., Petrov O. N.** Optical method of control of thermo-oxidative stability of transmission oils / Izv. TulGU. Tekhn. Nauki. 2013. Issue 11. P. 302 – 311 [in Russian].
 22. **Sorokin G. M., Kovalsky B. I., Bezborodov Yu. N., Malyshcheva N. N.** Thermo-oxidative stability of transmission oil TSgip / Vestn. Mashinostr. 2008. N 6. P. 30 [in Russian].
 23. **Vasiliev S. I., Popov A. S., Kovalsky B. I.** Methods and means of control of motor oils / Sist. Met. Tekhnol. 2010. N 5. P. 117 – 123 [in Russian].