

## ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-3-30-36

УДК 621.892.2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕСТРУКЦИИ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ НА ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЧНО-СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА ЛУКОЙЛ СУПЕР 10W-40 SG/CD

### RESEARCH OF THE EFFECT OF TEMPERATURE DESTRUCTION PRODUCTS, PRELIMINARY THERMOSTATING ON ANTI-WEAR PROPERTIES OF PARTIAL-SYNTHETIC MOTOR OIL LUKOIL SUPER 10W-40 SG / CD

Рябинин Александр Александрович,  
кандидат техн. наук, e-mail: s-ryabinin@mail.ru  
Alexander A. Ryabinin, C. Sc. in Engineering

Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79/10.  
Siberian Federal University, 79/10, pr. Svobodniy, Krasnoyarsk, 660041.

#### **Аннотация:**

Научное и практическое значение представляет исследование влияния продуктов, образующихся при предварительном термостатировании, на процессы, протекающие при окислении моторного масла, и на противоизносные свойства. С этой целью применен комплекс приборов, включающий: прибор для испытаний на термостойкость масел в диапазоне температур от 160 до 300 °C; фотометрическое устройство для прямого фотометрирования; прибор для определения термоокислительной стабильности; малообъемный вискозиметр; прибор для испытания трущихся материалов; цифровой микроскоп; лабораторные весы, позволяющие определять оптические свойства, кинематическую вязкость, испаряемость и противоизносные свойства окисленных и термостатированных масел.

Данная работа представляет результаты исследования влияния продуктов температурной деструкции, предварительного термостатирования на противоизносные свойства частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD. Определено влияние предварительного термостатирования на противоизносные свойства, подобраны оптимальные температуры предварительного термостатирования, при которых происходит повышение противоизносных свойств в сравнении термостатированных моторных масел при определенных температурах и товарного моторного масла, не подвергающегося температурному воздействию.

**Ключевые слова:** продукты температурной деструкции, предварительное термостатирование, температурная стойкость, термоокислительная стабильность, вязкость, противоизносные свойства, потенциальный ресурс.

#### **Abstract:**

Of scientific and practical importance are the study of the effect of products formed during the preliminary temperature control on the processes occurring during the oxidation of engine oil and antiwear properties. For this purpose, a set of instruments was used including: a device for testing the heat resistance of oils in the temperature range from 160 to 300 °C; photometric device for direct photometry; a device for determining thermal and oxidative stability; low-volume viscometer; device for testing friction materials; digital microscope; laboratory scales, allowing to determine the optical properties, kinematic viscosity, evaporation and anti-wear properties of oxidized and thermostatically controlled oils.

This paper presents the results of a study of the effect of temperature decomposition products, preliminary thermostating on the anti-wear properties of Lukoil Super 10W-40 SG/CD partial-synthetic engine oil. The effect of preliminary thermostating on antiwear properties has been determined, optimal temperature of preliminary thermostating has been selected at which there is an increase in antiwear properties when comparing

*thermostatted engine oils at certain temperatures and commercial oil that is not exposed to temperature.*

**Key words:** *temperature destruction products, preliminary temperature control, temperature resistance, thermal-oxidative stability, viscosity, anti-wear properties, potential resource.*

**Введение.** Высокие показатели температурной стойкости и противоизносных свойств позволяют увеличить эксплуатационный ресурс моторных масел, который в свою очередь является одним из основных требований, применяемых к смазочным материалам. Химический состав, полярность базового масла, состав композиций присадок – показатели, от которых зависят противоизносные свойства моторных масел, а также вязкостно-температурные характеристики масла с присадками, которые определяют температурные пределы его применения [1]. Противоизносные свойства масел зависят от их способности формировать хемосорбционные и химически модифицированные граничные слои на поверхностях трущихся деталей. Предотвращением коррозионного износа поршневых колец и цилиндров является нейтрализующая способность – важнейшая характеристика масла, показателем которой является щелочное число. Придание маслу достаточной нейтрализующей способности возможно путем введения в его состав дитиофосфатов для предотвращения коррозионно-механического изнашивания и модифицирования поверхностей трения тяжело нагруженных сопряжений во избежание задиров или усталостного выкрашивания. Для улучшения противоизносных свойств при граничной смазке в масла вводят присадки, содержащие серу, фосфор, галогены, бор, а также бензольные дисперсанты. Множественность факторов, влияющих на износ деталей двигателей, принципиальные различия режимов трения и изнашивания узлов затрудняют оптимизацию противоизносных свойств моторных масел.

**Методика исследования** описана в работах [2-3] и предусматривает применение таких измерительных средств, как прибор для определения температурной стойкости, малообъемный вискозиметр, фотометрическое устройство для прямого фотометрирования масел, трехшариковая машина трения со схемой “шар-цилиндр”.

#### **Результаты исследования и их обсуждение.**

Частично-синтетическое моторное масло Лукойл Супер 10W-40 SG/CD относится к всесезонным универсальным, применяется в бензиновых и дизельных двигателях, класс вязкости по SAE J300 10W-40, а группа эксплуатационных свойств по API для бензиновых двигателей SG, для дизельных – CD. Данное масло термостатировалось в диапазоне температур от 160°C до 300°C с повышением температуры на 20°C. Время испытания составило 8 часов, определялись противоизносные свойства по коэффициенту поглощения светового потока на трехшариковой машине трения [5].

Согласно справочным данным [1], масло необходимо менять при достижении верхнего или

нижнего предела вязкости. Верхним пределом считается повышение вязкости испытуемого масла более чем на 40 % относительно вязкости товарного масла, нижним пределом – падение вязкости на 20 % относительно вязкости товарного масла. С этой целью на графических зависимостях  $K_{\mu} = f(t)$  (рис. 1) нанесены штриховые линии, соответствующие значениям коэффициента относительной вязкости 1,4 и 0,8 ед.

Изменение вязкости окисленного, предварительно термостатированного частично-синтетического моторного масла оценивалось коэффициентом относительной вязкости  $K_{\mu}$ , определяемым выражением

$$K_{\mu} = \mu_o / \mu_{исх}, \quad (1)$$

где  $\mu_o$  – кинематическая вязкость окисленного масла, мм<sup>2</sup>/с.

$\mu_{исх}$  – кинематическая вязкость исходного товарного масла до испытания, мм<sup>2</sup>/с.

Вязкость в данном случае зависит от образующейся концентрации продуктов деструкции и определяет критическую температуру применения масел, при которой она либо увеличивается на 40%, либо уменьшается на 20%. Установлено, что для исследованных проб масел с различными температурами предварительного термостатирования в пробах масел, термостатированных при температурах 160°C, вязкость падает ниже допустимого предела. Меньший диапазон колебаний вязкости предварительно термостатированного масла относительно вязкости товарного масла установлен для пробы, термостатированной при 300°C.

При исследовании процессов самоорганизации и температурной стойкости предварительно термостатированных моторных масел различных базовых основ установлено [5], что в области первичных продуктов деструкции улучшение противоизносных свойств происходит наиболее интенсивно. При переходе от первичных продуктов деструкции во вторичные интенсивность изменения противоизносных свойств замедляется. Такие изменения противоизносных свойств объясняются различиями в структуре и свойствах граничных слоев, которые зависят от концентрации продуктов деструкции.

Анализ приведенных уравнений позволяет сделать вывод о влиянии температуры предварительного термостатирования масла на противоизносные свойства и скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте, т. е. чем больше значение критерия противоизносных свойств, тем выше противоизносные свойства масла.

Противоизносные свойства предварительно

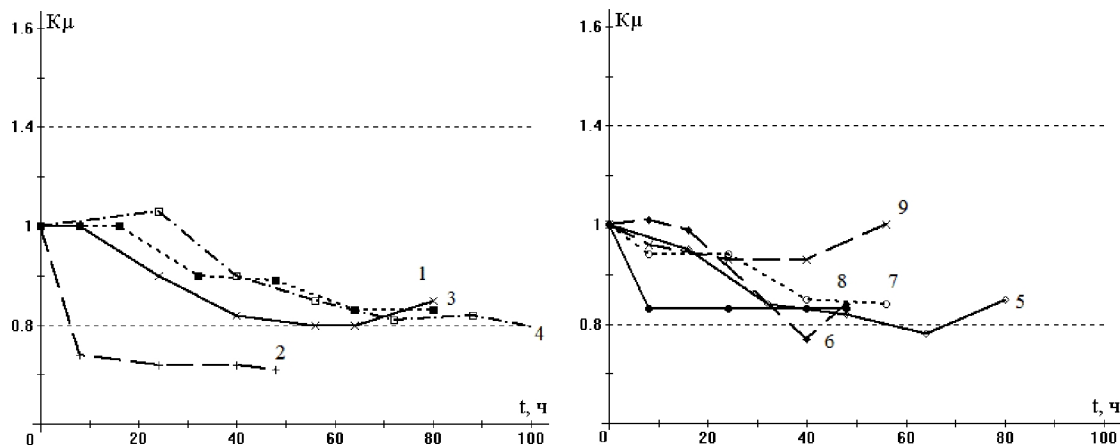


Рис. 1. Зависимости коэффициента относительной вязкости от времени окисления товарного (1) и термостатированного (2–9) частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD при температурах термостатирования: 2 – 160°C; 3 – 180°C; 4 – 200°C; 5 – 220°C; 6 – 240°C; 7 – 260°C; 8 – 280°C; 9 – 300°C

Fig. 1. Dependence of the coefficient of relative viscosity on the oxidation time of commercial (1) and thermostatically controlled (2–9) partially-synthetic Lukoil Super 10W-40 SG / CD engine oil at temperatures of thermostating: 2 - 160 °C; 3 - 180 °C; 4 - 200 °C; 5 - 220 °C; 6 - 240 °C; 7 - 260 °C; 8 - 280 °C; 9 - 300 °C

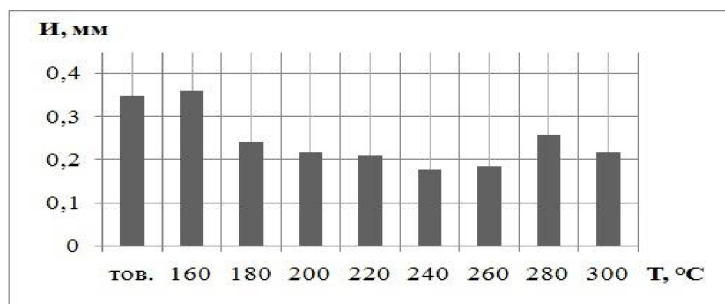


Рис. 2. Гистограмма изменения значения показателя износа товарного и окисленного моторного масла после предварительного термостатирования частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD

Fig. 2. Histogram of changes in the value of the index of wear of commercial and oxidized engine oil after preliminary thermostating of the partial-synthetic engine oil Lukoil Super 10W-40 SG / CD

термостатированных масел оценивались по среднеарифметическому значению диаметра пятна износа на трех шарах на установке для исследования трущихся материалов [6]. Результаты исследования представлены на рисунке 2.

Установлена общая тенденция изменения противоизносных свойств от времени испытания. Из рисунка 2 видно, что противоизносные свойства предварительно термостатированных масел улучшаются. При оценке противоизносных свойств установлено, что в области первичных продуктов окисления улучшение противоизносных свойств происходит интенсивно, диапазон показателя износа в усредненном значении составляет от 0,38 до 0,14 мм [13-14]. При переходе первичных продуктов окисления во вторичные интенсивность изменения противоизносных свойств замедляется, и усредненные значения диапазона составляют уже от 0,15 до 0,14 мм. Происходящие изменения

противоизносных свойств можно охарактеризовать различной концентрацией в структуре и свойствах граничных слоев, которые в свою очередь зависят от концентрации продуктов деструкции [7-10]. В связи с этим необходимо определять изменения противоизносных свойств от концентрации продуктов окисления и температуры предварительного термостатирования смазочных масел.

В качестве такого комплексного показателя использован предложенный ранее [11] критерий противоизносных свойств предварительно термостатированных масел  $\Pi$ , ед/мм<sup>2</sup> [15]. Данный критерий определяется как отношение коэффициента  $K_{\Pi}$ , характеризующего изменение оптических свойств масел и зависящего от температурного режима испытания, к площади пятна износа  $S$ :

$$\Pi = \frac{K_{\Pi}}{S}. \quad (2)$$

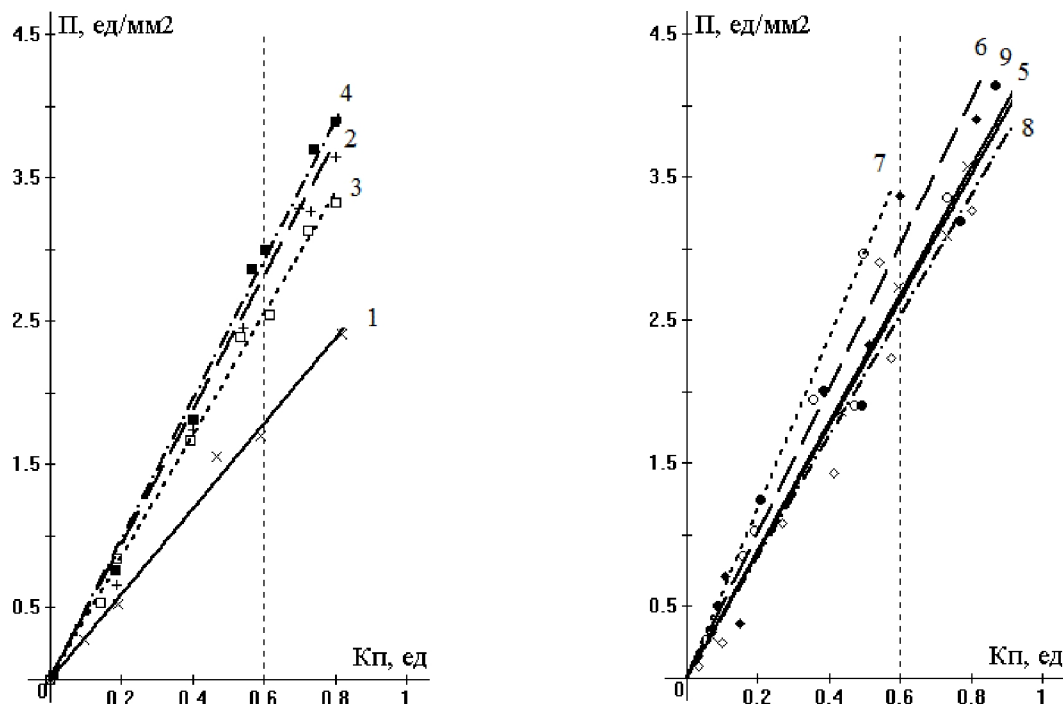


Рис. 3. Зависимости критерия противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока товарного (1) и термостатированного (2–9) частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD при температурах термостатирования: 2 – 160°C; 3 – 180°C; 4 – 200°C; 5 – 220°C; 6 – 240°C; 7 – 260°C; 8 – 280°C; 9 – 300°C

Fig. 3. Dependencies of the antiwear properties criterion on the absorption coefficient of the luminous flux of commercial (1) and thermostatically controlled (2–9) semi-synthetic Lukoil Super 10W-40 SG / CD engine oil at the temperature of the thermostating: 2 - 160 °C; 3 - 180 °C; 4 - 200 °C; 5 - 220 °C; 6 - 240 °C; 7 - 260 °C; 8 - 280 °C; 9 - 300 °C

Таблица 1. Регрессионные уравнения зависимостей (рис. 3)

Table 1. Regression equations of dependencies (Fig. 3)

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$\Pi = 2,97 K_{\Pi}$
160°C	$\Pi = 4,67 K_{\Pi}$
180°C	$\Pi = 4,23 K_{\Pi}$
200°C	$\Pi = 4,85 K_{\Pi}$
220°C	$\Pi = 4,39 K_{\Pi}$
240°C	$\Pi = 5,03 K_{\Pi}$
260°C	$\Pi = 5,89 K_{\Pi}$
280°C	$\Pi = 4,21 K_{\Pi}$
300°C	$\Pi = 4,46 K_{\Pi}$

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9978 до 0,9992.

Критерий позволяет дать характеристику условной концентрации продуктов температурной деструкции на исследуемой площади

фрикционного контакта [3].

Зависимости критерия противоизносных свойств  $\Pi$  от коэффициента поглощения светового



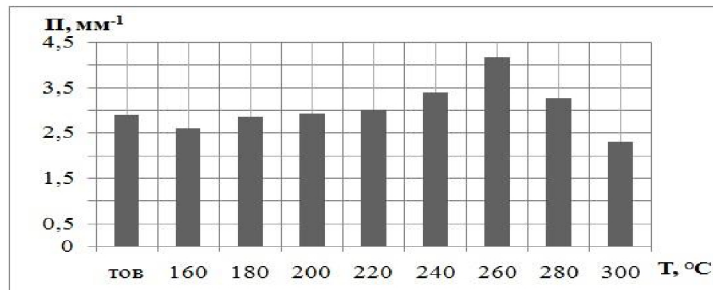


Рис. 4. Гистограммы изменения критерия противоизносных свойств окисленных моторных масел после предварительного термостатирования частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD.

Fig. 4. Histograms of changes in the criterion of anti-wear properties of oxidized motor oils after preliminary thermostating of partially-synthetic Lukoil Super 10W-40 SG / CD motor oil.



Рис. 5. Зависимость влияния предварительного термостатирования частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD от температуры термостатирования

Fig. 5. Dependence of the effect of preliminary thermostating of Lukoil Super 10W-40 SG / CD partial-synthetic engine oil on the temperature of thermostating

потока  $K_{\Pi}$  представлены на рисунке 3.

Зависимость  $\Pi = f(K_{\Pi})$  описывается линейным уравнением

$$\Pi = a_{\Pi} (K_{\Pi} - K_{\Pi.н}), \quad (3)$$

где  $a_{\Pi}$  – скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте,  $1/\text{мм}^2$ ;

$K_{\Pi}$  – коэффициент поглощения светового потока при испытании;

$K_{\Pi.н}$  – начальное значение коэффициента поглощения светового потока, обусловленное предварительным термостатированием.

Анализ приведенных уравнений и гистограммы, изображенной на рисунке 4, позволяет сделать вывод о влиянии температуры

предварительного термостатирования масла на противоизносные свойства и скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте [16, 17], т. е. чем больше значение критерия противоизносных свойств, тем выше противоизносные свойства масла [12].

Для оценки влияния температуры предварительного термостатирования на противоизносные свойства смазочных масел предложен коэффициент влияния предварительного термостатирования, определяемый отношением:

$$K_{\Pi\Gamma} = \frac{a_{\Pi\Gamma.с}}{a_{\Pi\Gamma.тов}}, \quad (4)$$

где  $a_{\Pi\Gamma.с}$  – скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте предварительного термостатированного масла,  $1/\text{мм}^2$ ;

$a_{\Pi\Gamma.тов}$  – параметр, характеризующий скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте товарного масла,  $1/\text{мм}^2$ .

На рисунке 5 представлена зависимость коэффициента влияния предварительного термостатирования масел от температуры термостатирования.

Выводы:

1. Согласно проведенным исследованиям установлено влияние температуры предварительного термостатирования масла на противоизносные свойства и скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте и, как следствие, на повышение работоспособности смазочного масла.

2. Из графика, изображенного на рисунке 5, видно, что при температуре предварительного термостатирования  $240^{\circ}\text{C}$  для частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD критерий противоизносных свойств выше критерия, полученного у товарного масла на 98%, следовательно, при такой температуре

термостатирования противозносные свойства предварительного термостатирования.  
лучше, чем при остальных температурах

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадышева, С.А. Бнатов и др.; Под ред. В.М. Школьников. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596 с.
2. Рябинин А.А. Влияние предварительного термостатирования моторных масел различной базовой основы на оптические свойства / А.А. Рябинин // Вестник КузГТУ. - 2016. - №3. - С. 92–96.
3. Рябинин А.А. Влияние предварительного термостатирования на оптические свойства частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD / А.А. Рябинин // Вестник КузГТУ. - 2016. - №4. - С. 83–87.
4. Мышкин, Н.К. Определение температурной стойкости граничных слоев / Н.К. Мышкин, В.А. Кончиц // Трение и износ. – 1981. – Т. 11. – № 4. – С. 725–728.
5. Рябинин А.А. Метод контроля влияния предварительного термостатирования на термоокислительную стабильность и противозносные свойства моторных масел: дисс. ... канд. техн. наук / А.А. Рябинин. – Красноярск, 2017. – 113 с.
6. Пат. № 2428677 Рос. Федерация: МПК G 01 № 19/02. Устройство для испытания трущихся материалов и масел / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, О.Н. Петров, В.И. Тихонов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2010119754/28; заявл. 17.05.2010; опубл. 10.09.2011. Бюл.№25.
7. Шрам, В.Г. Исследование влияния продуктов температурной деструкции на противозносные свойства синтетических моторных масел / В.Г. Шрам, Б.И. Ковальский, О.Н. Петров // Вестник КрасГАУ. Красноярск. – 2013. – № 1 (76). – С. 102–107.
8. Шрам, В.Г. Исследование влияния продуктов температурной деструкции на противозносные свойства гидравлического масла HLP-10 / В.Г. Шрам, Б.И. Ковальский, О.Н. Петров, Ю.Н. Безбородов, А.А. Игнатьев // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 13. – С. 137–140.
9. Шрам, В.Г. Влияние механической деструкции и продуктов температурной деструкции на противозносные свойства минеральных моторных масел. Ч. 2 / В.Г. Шрам, Б.И. Ковальский, О.Н. Петров, Ю.Н. Безбородов, А.Н. Сокольников // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 13. – С. 149–152.
10. Ковальский, Б.И. Исследование механохимических процессов моторных масел при граничном трении скольжения / Б.И. Ковальский, А.Н. Сокольников, О.Н. Петров, А.В. Кузьменко // Транстрибо. IV международный симпозиум по транспортной триботехнике: сб. тр. – СПб., 2010. – С. 86–91.
11. Пат. № 2454654 Рос. Федерация: МПК G 01 № 3/56, G 01 № 33/30. Способ определения качества смазочных масел / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Малышева, А.В. Кузьменко, М.М. Рунда, Е.Г. Мальцева; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2011107418/28; заявл. 25.02.2011; опубл. 27.06.2012. Бюл. № 18.
12. Гарзанов, Е.Г. Техническая диагностика поршневых газоперекачивающих агрегатов по анализу отработанного масла / Е.Г. Гарзанов, В.А. Ильин [и др.] // Трение и износ. – 1982 – Т.3.–№ 2. – С. 284–289.
13. Соколов, А.И. Изменение качества масел и долговечность автомобильных двигателей / А.И. Соколов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1976. – 120 с.
14. Маркова, Л.В. Современные требования к контролю работоспособности масла дизельного ДВС / Л.В. Маркова, Н.К. Мышкин, Х. Конг [и др.] // Трение и износ. – 2002. – Т. 23. – № 4. – С. 425–435.
15. Скиннер, Н.И. Портативный комплекс средств для экспресс-диагностики работающего моторного масла / Н.И. Скиннер, Ю.А. Гурьянов // ХТТМ. – 2001 – Т. 1. – С. 38–40.
16. Fhoenes, H. W. Evführungen mit der Vickers – Emgelse – uenpumpe / H. W. Fhoenes, K. Baner, P. Herman// schiertechnik Tribologie. – 1978 – №4, August. S9.
17. Studt, P. Boundary Lubrication: adsorption of oil additives on steel and ceramic surfaces and its influence on friction and wear // Tribology Int. – 1989 (22). – № 2. – P. 111–119.

## REFERENCES

1. Fuels, lubricants, technical fluids. Assortment and application: Reference book / I. G. Anisimov, K. M. Badysheva, S. A. Bnatov, and others; Ed. V.M. Shkolnikova. Ed. 2nd pererab. and add. - M.: Publishing center "Techninform", 1999. - 596 p.
2. Ryabinin A.A. Effect of preliminary thermostating of motor oils of various basic bases on optical properties / A.A. Ryabinin // Bulletin KuzGTU. - 2016. - №3. - С. 92-96.
3. Ryabinin A.A. The effect of preliminary thermostating on the optical properties of partially synthetic motor oil Lukoil Super 10W-40 SG / CD / A.A. Ryabinin // Bulletin KuzGTU. - 2016. - №4. - С. 83-87.
4. Myshkin, N.K. Determination of temperature resistance of boundary layers / N.K. Myshkin, V.A. Konchic // Friction and wear. - 1981. - V. 11. - № 4. - p. 725-728.
5. Ryabinin A.A. The method of controlling the effect of pre-temperature on the thermo-oxidative stability and anti-wear properties of motor oils: diss. ... Cand. tech. Sciences / A.A. Ryabinin. - Krasnoyarsk, 2017. - 113 p.
6. Pat. No. 2428677 Ros. Federation: IPC G 01 № 19/02. A device for testing friction materials and oils. Kovalsky, Yu.N. Bezborodov, ON Petrov, V.I. Tikhonov; applicant and patent holder of FGOU VPO "Siberian Federal University". - № 2010119754/28; declare 05/17/2010; publ. 09/10/2011. Bul.№25.
7. Shram, V.G. Study of the effect of temperature degradation products on the antiwear properties of synthetic motor oils / V.G. Scar, B.I. Kovalsky, ON Petrov // Herald KrasGAU. Krasnoyarsk. - 2013. - № 1 (76). - pp. 102-107.
8. Shram, V.G. Study of the effect of temperature destruction products on the anti-wear properties of hydraulic oil HLP-10 / V.G. Scar, B.I. Kovalsky, ON Petrov, Yu.N. Bezborodov, A.A. Ignatiev // Bulletin of Kazan Technological University. - 2012. - V. 15. - № 13. - P. 137-140.
9. Shram, V.G. The effect of mechanical destruction and temperature destruction products on the anti-wear properties of mineral motor oils. Part 2 / V.G. Scar, B.I. Kovalsky, ON Petrov, Yu.N. Bezborodov, A.N. Sokolnikov // Bulletin of Kazan Technological University. - 2012. - T. 15. - № 13. - P. 149-152.
10. Kovalsky, B.I. Investigation of mechanochemical processes of motor oils at boundary sliding friction / B.I. Kovalsky, A.N. Sokolnikov, O.N. Petrov, A.V. Kuzmenko // Transtribology. IV International Symposium on Transport Tribotechnology: Sat. tr. - SPb., 2010. - P. 86-91.
11. Pat. No. 2454654 Ros. Federation: IPC G 01 No. 3/56, G 01 No. 33/30. Method for determining the quality of lubricating oils / B.I. Kovalsky, Yu.N. Bezborodov, N.N. Malysheva, A.V. Kuzmenko, M.M. Runda, E.G. Maltsev; applicant and patent holder of FGOU VPO "Siberian Federal University". - № 2011107418/28; declare February 25, 2011; publ. 27.06.2012. Bul. No. 18.
12. Garzanov, E.G. Technical diagnostics of piston gas pumping units for the analysis of waste oil / E.G. Garzanov, V.A. Ilyin [and others] // Friction and wear. - 1982 - V. 3. - № 2. - p. 284-289.
13. Sokolov, A.I. Change of oil quality and durability of automobile engines / A.I. Sokolov. - Tomsk: Publishing house Tom. University, 1976. - 120 p.
14. Markova, L.V. Modern requirements for monitoring the performance of diesel engine oil / L.V. Markova, N.K. Myshkin, H. Kong [and others] // Friction and wear. - 2002. - V. 23. - № 4. - P. 425-435.
15. Skinder, N.I. Portable complex of means for express diagnostics of working engine oil / N.I. Skinder, Yu.A. Guryanov // HTTM. - 2001 - T. 1. - p. 38-40.
16. Fhoenes, H.W. Evfahrungen mit der Vickers - Emgelse - uenpumpe / H.W. Fhoenes, K. Baner, P. Herman // schiertechnik Tribologie. - 1978 - №4, August. S9.
17. Studt, P. Boundary Lubrication: Tribology Int. - 1989 (22). - № 2. - P. 111-119.

Поступило в редакцию 22.04.2019

Received 22 April 2019