

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-2-10-17

УДК 621.892.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕСТРУКЦИИ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ НА ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО МАСЛА MOBIL SUPER 3000 5W-40 SJ/SL/SK/CF

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF PRODUCTS OF TEMPERATURE DESTRUCTION, PRE-THERMOSTATING ON ANTIWEARING PROPERTIES OF SYNTHETIC MOBIL SUPER 3000 5W-40 SJ / SL / SK / CF ENGINE OIL

Рябинин Александр Александрович,
канд. техн. наук, e-mail: aaryabinin@sfu-kras.ru.ru
Ryabinin Alexander Alexandrovich, C. Sc. in Engineering

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

Аннотация:

Механизм температурной деструкции исследовался в работах Н. К. Мышкина, Г. И. Фукса, И. А. Буяновского, Г. И. Шора, Р. М. Матвеевского и др. В данных работах влияние продуктов температурной деструкции оценивалось противоизносными свойствами термостатированных масел, однако воздействие температуры на свойства масел не исследовалось.

Л. А. Кондаков, С. Е. Крейн, А. В. Непогодьева, К. К. Папок, Н. И. Черножуков, Н. М. Эмануэль, В. А. Зорин внесли значительный вклад в исследование процессов окисления моторных масел.

Данная работа представляет результаты исследования влияния продуктов температурной деструкции, предварительного термостатирования на противоизносные свойства синтетического моторного масла Mobil Super 3000 5W-40 SJ/SL/SK/CF. Определено влияние предварительного термостатирования на противоизносные свойства.

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

Abstract:

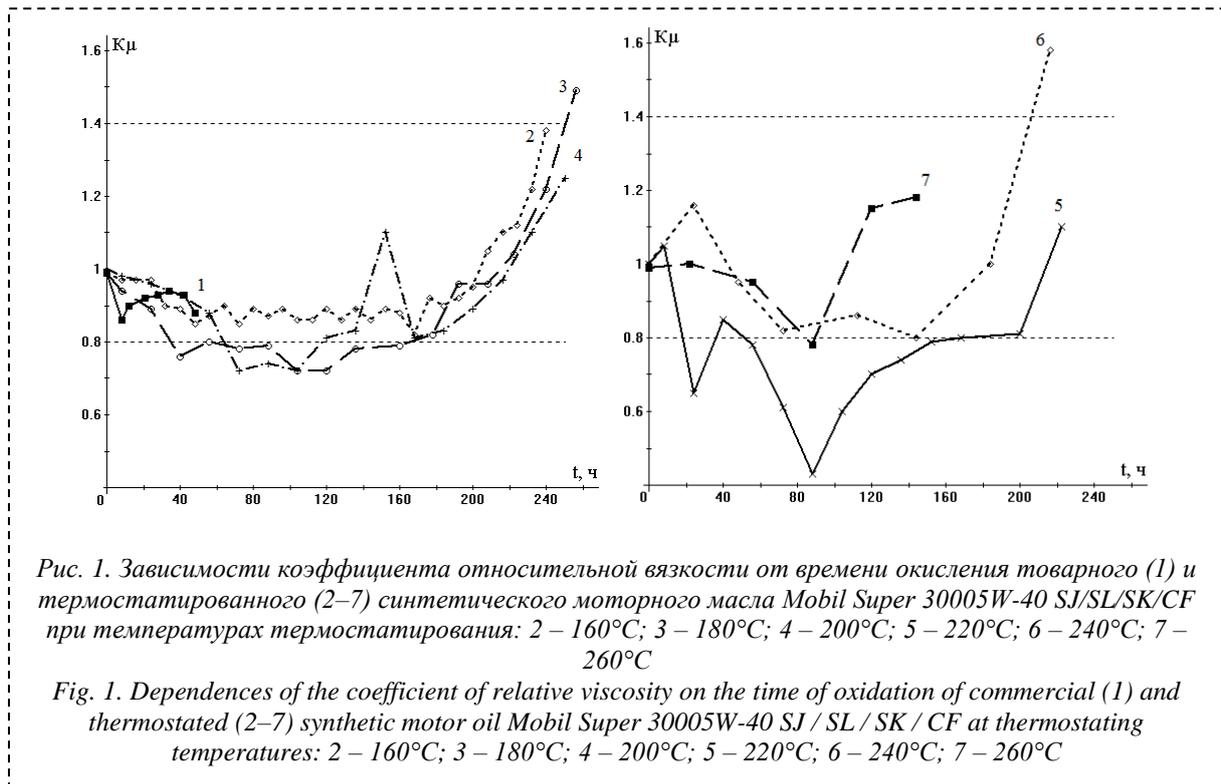
The mechanism of thermal destruction was investigated in the works of N. K. Myshkin, G. I. Fuks, I. A. Buyanovsky, G. I. Shor, R. M. Matveevsky et al. In these works, the effect of thermal destruction products was assessed by the anti-wear properties of thermostated oils, but the effect of temperature on the properties of oils was not studied.

L. A. Kondakov, S. E. Kerin, A. V. Nepogodiev, K. K. Papok, N. I. Chernozhukov, N. M. Emanuel, V. A. Zorin made a significant contribution to the study of the oxidation processes of motor oils.

This work presents the results of a study of the effect of thermal degradation products and preliminary thermostating on the anti-wear properties of Mobil Super 3000 5W-40 SJ / SL / SK / CF synthetic motor oil. The influence of preliminary thermostating on anti-wear properties is determined.

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. Предотвращение коррозионного износа поршневых колец и цилиндров является нейтрализующей способностью, важнейшей характеристикой способности масла, показателем которой является щелочное число. Придание маслу достаточной нейтрализующей способности путем введения в его состав дитиофосфатов для предотвращения коррозионно-механического изнашивания и модифицирования поверхностей трения тяжелонагруженных 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.

Синтетическое моторное масло Mobil Super 3000 5W-40 SJ/SL/SK/CF относится к всепогодным универсальным и применяется в бензиновых и дизельных двигателях, класс вязкости по SAE J300 10W-40, а группа эксплуатационных свойств по API для бензиновых двигателей SG, а дизельных CD. Данное масло термостатировалось в диапазоне температур от 160 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 $K_{\mu} = f(t)$ (рисунок 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_{μ} , определяемым выражением

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

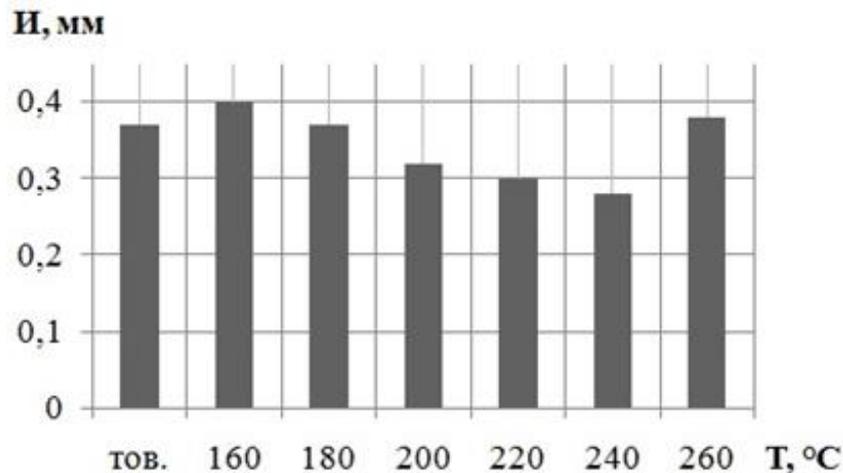


Рис. 2. Гистограмма изменения значения показателя износа товарного и окисленного моторного масла после предварительного термостатирования синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF

Fig. 2. Bar graph of the change in the value of the wear indicator of commercial and oxidized engine oil after pre-temperature control of synthetic engine oil Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF

где μ_0 – кинематическая вязкость окисленного масла, мм²/с.

$\mu_{исх}$ – кинематическая вязкость исходного товарного масла до испытания, мм²/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 нижнего допустимого предела. Меньший диапазон колебаний вязкости предварительно термостатированного масла относительно вязкости товарного масла установлен для пробы, термостатированной при 300 °C.

Исследованиями 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 термостатированных масел оценивались по среднеарифметическому значению диаметра пятна износа на трех шарах на установке для исследования трущихся материалов [6]. Результаты исследования представлены на рис. 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 деструкции улучшение противоизносных свойств происходит интенсивно, диапазон показателя износа в усредненном значении составляет от 0,59 до 0,27 мм. [13-14]. При переходе от первичных продуктов деструкции во вторичные интенсивность изменения противоизносных свойств замедляется и усредненные значения диапазона составляют уже от 0,37 до 0,23 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.

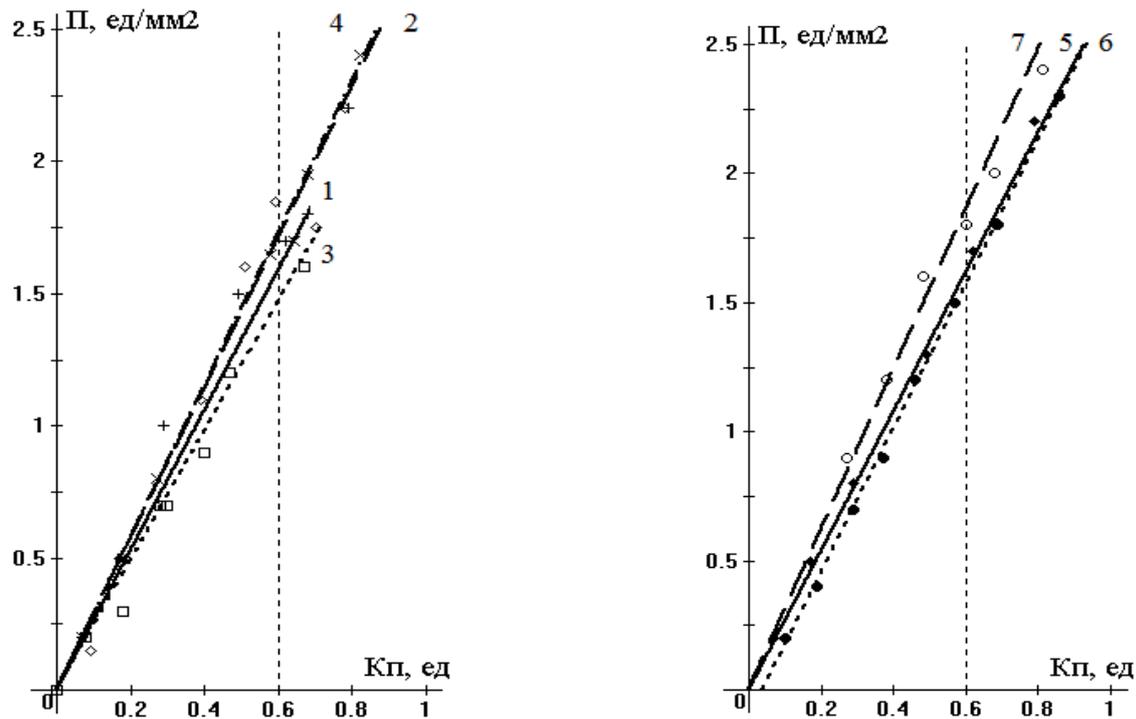


Рис. 3. Зависимости критерия противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока товарного (1) и термостатированного (2–7) синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF при температурах термостатирования: 2 – 160°C; 3 – 180°C; 4 – 200°C; 5 – 220°C; 6 – 240°C; 7 – 260°C

Fig. 3 - Dependences of the criterion of anti-wear properties on the absorption coefficient of the luminous flux of commercial (1) and thermostated (2–7) synthetic motor oil Mobil Super 30005W-40 SJ / SL / SK / CF at thermostating temperatures: 2 – 160 °C; 3 – 180°C; 4 – 200°C; 5 – 220°C; 6 – 240°C; 7 – 260°C

Таблица 1. Регрессионные уравнения зависимостей (рис. 3)

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

Параметр	Регрессионные уравнения
Без термостатирования	$\Pi = 2,95 K_{\Pi}$
160 °C	$\Pi = 3,54 K_{\Pi}$
180 °C	$\Pi = 3,98 K_{\Pi}$
200 °C	$\Pi = 4,07 K_{\Pi}$
220 °C	$\Pi = 4,32 K_{\Pi}$
240 °C	$\Pi = 5,25 K_{\Pi}$
260 °C	$\Pi = 4,70 K_{\Pi}$

В качестве такого комплексного показателя использован предложенный ранее [11] критерий противоизносных свойств предварительно термостатированных масел Π , ед/мм² [15]. Данный критерий определяется как отношение коэффициента K_{Π} , характеризующего изменение оптических свойств масел и зависящего от температурного режима испытания, к площади пятна износа S :

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

Критерий позволяет дать характеристику условной концентрации продуктов температурной деструкции на исследуемой площади фрикционного контакта [3].

Зависимости критерия противоизносных свойств Π от коэффициента поглощения светового потока K_{Π} представлены на рис. 3.

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

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

где a_{Π} – скорость изменения условной

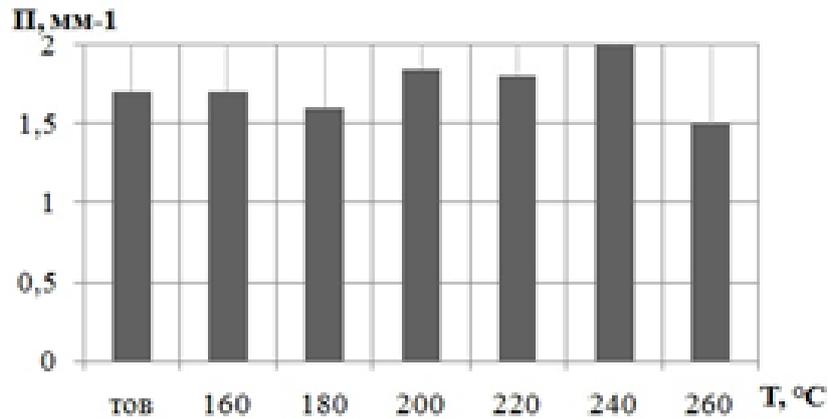


Рис. 4. Гистограммы изменения критерия противоизносных свойств окисленных моторных масел после предварительного термостатирования синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF

Fig. 4. Histograms of changes in the criterion of anti-wear properties of oxidized engine oils after preliminary thermostating of synthetic engine oil Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF



Рис. 5. Зависимость коэффициента влияния предварительного термостатирования синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF от температуры термостатирования

Fig. 5. Dependence of the coefficient of influence of pre-temperature control of synthetic engine oil Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF on the temperature control

концентрации продуктов деструкции на потоке при испытании; $K_{п.н}$ – начальное значение коэффициента
 фрикционном контакте, $1/\text{мм}^2$; K_n – коэффициент поглощения светового потока, обусловленное

предварительным термостатированием.

Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0,9958 до 0,9984.

Анализ приведенных уравнений и гистограммы, изображенной на рис. 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:

$$2. \quad K_{пт} = \frac{a_{п.тс}}{a_{п.тов}}, \quad (4)$$

где $a_{п.тс}$ – скорость изменения условной концентрации продуктов деструкции на фрикционном контакте предварительного термостатированного масла, $1/мм^2$;

$a_{п.тов}$ – параметр, характеризующий скорость изменения условной концентрации продуктов

деструкции на фрикционном контакте товарного масла, $1/мм^2$.

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

Выводы:

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

Из графика, изображенного на рис. 5, видно, что при температуре предварительного термостатирования $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ критерий противоизносных свойств выше критерия, полученного у товарного масла, на 78%, следовательно, при такой температуре термостатирования противоизносные свойства у синтетического моторного масла Mobil Super 30005W-40 SJ/SL/SK/CF лучше, чем при остальных температурах предварительного термостатирования.

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. Кончиу // Трение и износ. – 1981. – Т. 11. – № 4. – С. 72-728.
5. Рябинин А. А. Метод контроля влияния предварительного термостатирования на термоокислительную стабильность и противоизносные 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 противоизносные 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 противоизносные свойства гидравлического масла HLP-10 / В. Г. Шрам, Б. И. Ковальский, О. Н. Петров, Ю. Н. Безбородов,

А. А. Игнатъев // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 13. – С. 137-140.

9. Шрам, В. Г. Влияние механической деструкции и продуктов температурной деструкции на противоизносные 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; опублик. 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. Скиндер, Н. И. Портативный комплекс средств для экспресс-диагностики работающего моторного масла / Н. И. Скиндер, Ю. А. Гурьянов // ХТТМ. – 2001 – Т. 1. – С. 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: 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. Konchiu // 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. Scar, V.G. Study of the effect of temperature degradation products on the antiwear properties of synthetic motor oils / V. G. Scar, B. I. Kovalsky, O. N. Petrov // Herald KrasGAU. Krasnoyarsk. – 2013. – № 1 (76). – pp. 102-107.

8. Scar, 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, O. N. Petrov, Yu. N. Bezborodov, A. A. Ignatiev // Bulletin of Kazan Technological University. – 2012. – V. 15. – № 13. – P. 137-140.

9. Scar, 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, O. N. Petrov, Yu. N. Bezborodov, A. N. Sokolnikov // Bulletin of Kazan Technological University. – 2012. – Т. 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 // *Transtribo. IV International Symposium on Transport Tribotechnics: 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 – Т. 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 06.03.2021

Received 06 March 2021