

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-6-26-31

УДК 621.892.2

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ
ПРОДУКТАМИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТОЙКОСТИ СМАЗОЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ****METHOD FOR DETERMINING THE ENERGY RELATIONSHIP BETWEEN
PRODUCTS OF LUBRICANT TEMPERATURE RESISTANCE****Ковальский Болеслав Иванович,**

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

Kovalsky Boleslav Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor**Рябинин Александр Александрович,**

канд. техн. наук, e-mail: aaryabinin@sfu-kras.ru.ru

Ryabinin Alexander Alexandrovich, C. Sc. In Engineering**Сокольников Александр Николаевич,**

канд. техн. наук, e-mail: asokolnikov@sfu-kras.ru

Sokolnikov Alexander Nikolaevich, C. Sc. In Engineering,

Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82/8.

Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Svobodny Ave., 82/8.

Аннотация:

Представлены результаты испытания моторных масел различной базовой основы на температурную стойкость с учетом тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции и испарения. Установлены линейные зависимости между десятичными логарифмами тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения. Установлено, что процессы температурной деструкции начинаются после испарения необходимой массы смазочного моторного материала, т.е. при термостатировании смазочных масел в первую очередь происходят процессы испарения и после наполнения определенного количества тепловой энергии происходит обоюдное увеличение концентраций продуктов температурной деструкции и испарения.

Ключевые слова: оптическая плотность, испаряемость, тепловая энергия, десятичный логарифм тепловой энергии, температура термостатирования.

Abstract:

The results of testing engine oils of various base bases for temperature resistance, taking into account the thermal energy absorbed by the products of thermal destruction and evaporation, are presented. Linear relationships have been established between the decimal logarithms of the thermal energy absorbed by the evaporation products. It was found that the processes of thermal destruction begin after the evaporation of the required mass of the lubricating motor material, i.e. during thermostating of lubricating oils, first of all, evaporation processes occur and after filling a certain amount of thermal energy, a mutual increase in the concentrations of products of thermal destruction and evaporation occurs.

Key words: optical density, volatility, thermal energy, decimal logarithm of thermal energy, thermostating temperature.

Введение. Температурная стойкость как эксплуатационный показатель смазочных масел характеризует температурную область их работоспособности и температуру деструкции базовой основы и присадок. Данный показатель обычно определяется непосредственно при трении

по изменению коэффициента трения от температуры испытания [1-3] или в объеме по лаконогаарообразованию [4]. Разработан стандарт для определения температурной стойкости смазочных масел при трении [5]. Для повышения информативности метода оценки температурной

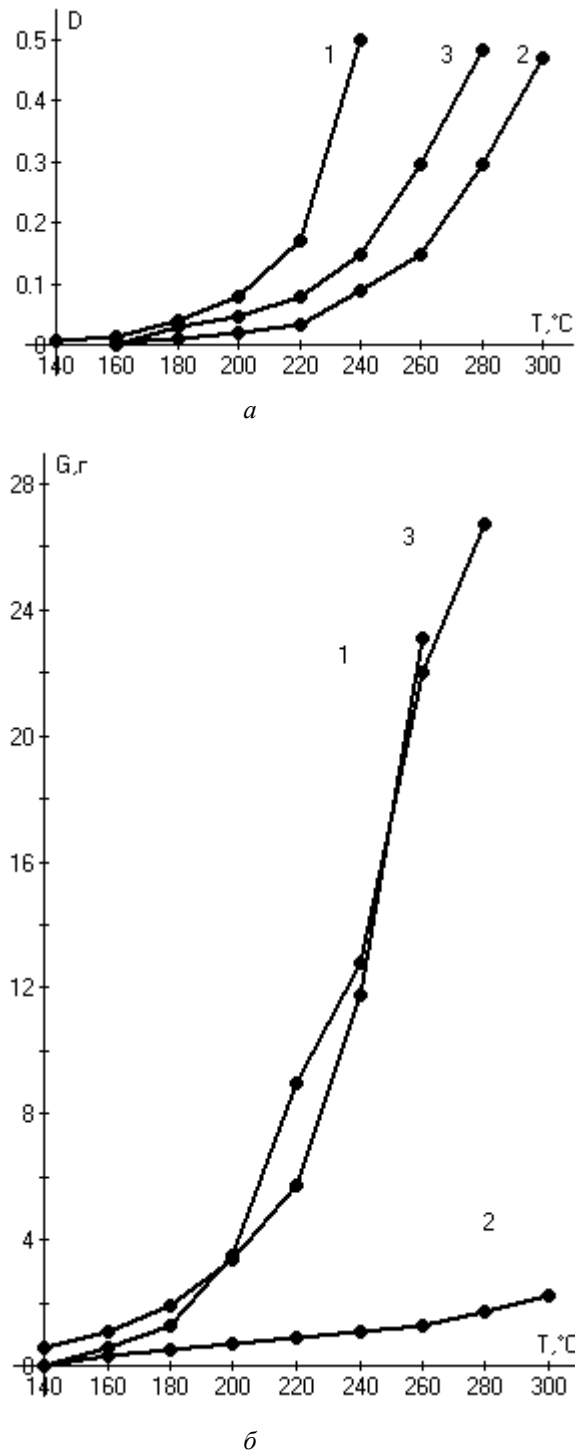


Рис. 1. Зависимости оптической плотности (а) и испаряемости (б) от температуры термостатирования моторных масел за время 8 часов: 1 – минерального Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC; 2 – частично синтетического Spectrol Capital 5W-40 SJ/CF; 3 – синтетического Лукойл Genesis Advanced 10W-40 CN/CF

Fig. 1. Dependences of optical density (a) and volatility (b) on the thermostating temperature of engine oils during 8 hours: 1 – mineral Lukoil Standard 10W-40 SF / CC; 2 – partially synthetic Spectrol Capital 5W-40 SJ / CF; 3 – synthetic Lukoil Genesis Advanced 10W-40 CN / CF

стойкости применяют такие показатели, как кинематическая вязкость, коэффициент энергетического состояния, температура начала нагарообразования, оптическая мощность, индекс вязкости и др. [6,7]

При эксплуатации механических систем смазочное масло подвергается температурному и механическому воздействию, в результате чего протекают одновременно процессы окисления и деструкции. Для исследования процессов температурной деструкции и минимизации процессов окисления смазочные материалы испытывают в приборах без перемешивания [13-15]. Однако при термостатировании в широком температурном интервале, например, от 140 до 300°C, происходят одновременно деструкция базового масла и присадок, а также испарение, поэтому критерий температурной стойкости будет определяться этими двумя показателями, измеряемыми различными единицами: оптической плотностью – продукты температурной деструкции и граммами – масса испарившегося масла.

Известно, что смазочный материал не может бесконечно поглощать тепловую энергию, поэтому избыток ее он «сбрасывает» в виде продуктов температурной деструкции и испарения [8-12]. В этой связи целью настоящих исследований является применение энергетического метода оценки процессов температурной деструкции и испарения, что позволит сравнивать их интенсивность.

Для испытания приняты моторные масла различной базовой основы: минеральное – Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC; частично синтетическое – Spectrol Capital 5W-40 SJ/CF и синтетическое – Лукойл Genesis Advanced 10W-40 SN/CF. В качестве средств испытания и контроля использовались: прибор для термостатирования масел в диапазоне температур от 100 до 300°C; фотометрическое устройство для прямого фотометрирования термостатированных масел при толщине фотометрируемого слоя 2мм и электронные весы для

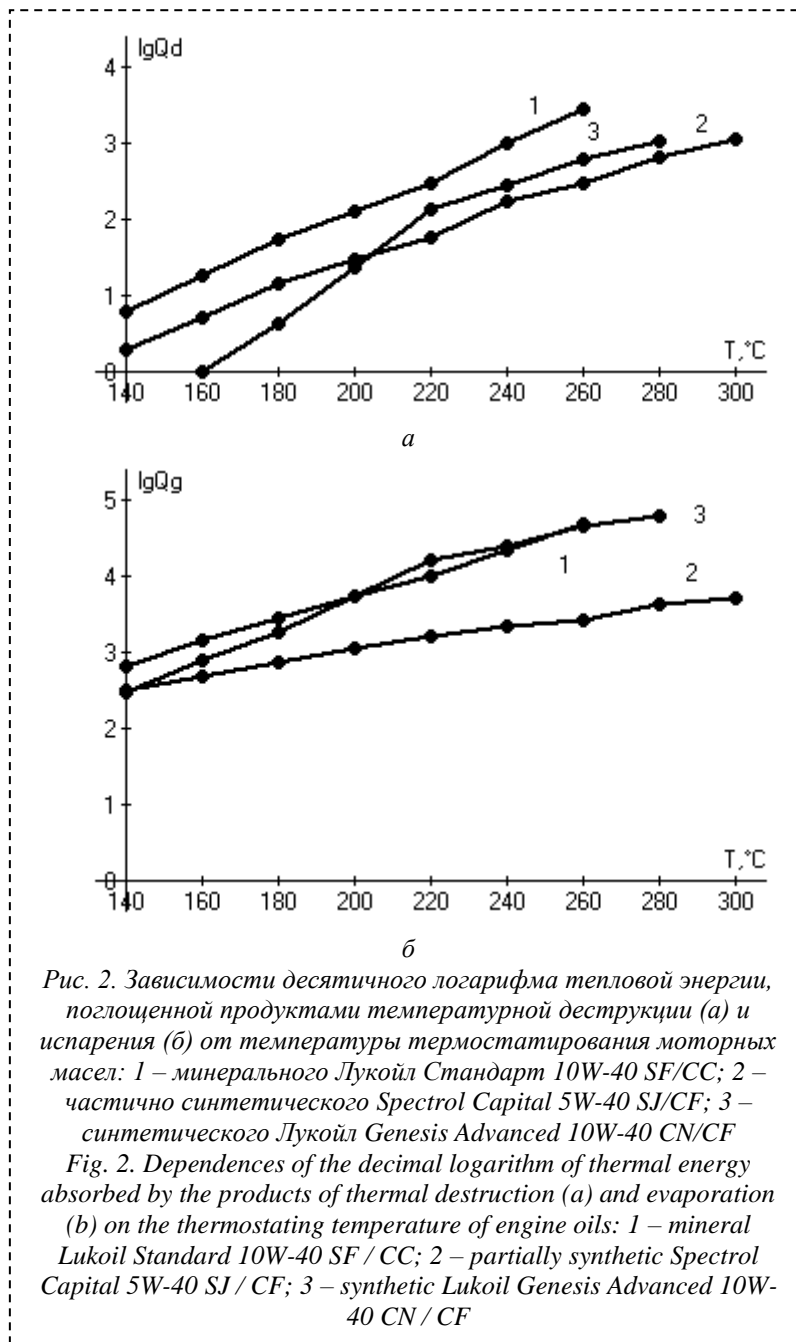


Рис. 2. Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции (а) и испарения (б) от температуры термостатирования моторных масел: 1 – минерального Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC; 2 – частично синтетического Spectrol Capital 5W-40 SJ/CF; 3 – синтетического Лукойл Genesis Advanced 10W-40 CN/CF
Fig. 2. Dependences of the decimal logarithm of thermal energy absorbed by the products of thermal destruction (a) and evaporation (b) on the thermostating temperature of engine oils: 1 – mineral Lukoil Standard 10W-40 SF / CC; 2 – partially synthetic Spectrol Capital 5W-40 SJ / CF; 3 – synthetic Lukoil Genesis Advanced 10W-40 CN / CF

измерения массы испарившегося масла.

Методика исследования заключается в следующем. Пробу масла постоянной массы помещают в прибор для термостатирования в диапазоне температур от 140 до 300°C в течение 8-ми часов при каждой температуре. Температура термостатирования задается и поддерживается автоматически с помощью терморегулятора. Испытания проводят при атмосферном давлении без доступа воздуха без перемешивания с конденсацией паров и отвода конденсата. После 8-ми часов термостатирования пробу масла взвешивают, определяют массу испарившегося масла G, часть пробы фотометрируют, определяют оптическую плотность D.

$$D = \frac{\lg 300}{\Pi}; \quad (1)$$

где 300 – показания фотометра при незаполненной маслом кювете, мкА

Π – показания фотометра при заполненной кювете термостатированным маслом, мкА.

Вычисляют количество тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции Q_D за время термостатирования t .

$$Q_D = T \cdot t \cdot D \quad (2)$$

Количество тепловой энергии, поглощенной массой испарившегося масла Q_G

$$Q_G = T \cdot t \cdot G \quad (3)$$

Полученными данными Q_D и Q_G вычисляют десятичные логарифмы тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции $\lg Q_D$ и массой испарившегося масла $\lg Q_G$

Новые пробы испытуемого масла термостатируют по той же технологии при повышении температуры на 20°C выше предыдущей и измеряют те же показатели. По полученным экспериментальным данным строят графические зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции, от десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной массой испарившегося масла, по которым определяют более энергоемкие процессы.

По полученным экспериментальным данным оптической плотности и

испаряемости потребители моторных масел могут обосновано выбирать более термостойкие масла, ресурс которых при эксплуатации техники будет максимальным. Однако летучие моторные масла могут вызывать испарения масляного слоя на поверхностях трения и вызывать схватывание, поэтому перед производителями смазочных масел стоит проблема повышения устойчивости масла против температурной деструкции или температуры начала испарения. Для этого в работе предложено использовать энергоемкость процессов температурной деструкции и испаряемости и по значениям тепловой энергии, поглощенной продуктами деструкции и испарения, принимать решение по улучшению смазочного масла.

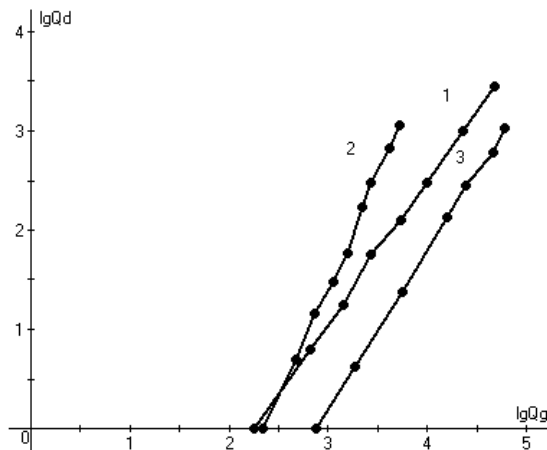


Рис. 3. Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции, от десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения в температурном интервале от 140 до 300°C при испытании моторных масел: 1 – минерального Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC; 2 – частично синтетического Spectrol Capital 5W-40 SJ/CF; 3 – синтетического Лукойл Genesis Advanced 10W-40 CN/CF

Fig. 3. Dependences of the decimal logarithm of thermal energy absorbed by the products of thermal destruction on the decimal logarithm of the thermal energy absorbed by the products of evaporation in the temperature range from 140 to 300 °C when testing engine oils: 1 – mineral Lukoil Standard 10W-40 SF / CC; 2 – partially synthetic Spectrol Capital 5W-40 SJ / CF; 3 – synthetic Lukoil Genesis Advanced 10W-40 CN / CF

Результаты исследования и их обсуждение.

На рис. 1а и 1б представлены зависимости оптической плотности и испаряемости от температуры термостатирования моторных масел различной базовой основы. Установлено, что с повышением температуры оптическая плотность масел увеличивается, причем четко установлены две температурные области с низкой скоростью изменения оптической плотности и высокой. Более термостойкой является частично синтетическое масло (кривая 2), а менее – минеральное (кривая 1).

Данные зависимости описываются полиномом второго порядка, а регрессионные уравнения имеют вид для масел

$$\text{Минерального} \quad G = 0.002443T^2 - 0.8118T + 67.5214 \quad (10)$$

$$\text{Частично синтетического} \quad G = 3.409T^2 - 0.0025T + 0.2242 \quad (11)$$

$$\text{Синтетического} \quad G = 0.0016T^2 - 0.4556T + 33.1875 \quad (12)$$

Коэффициенты корреляции составили 0.972; 0.986; 0.990;

Средние квадратические отклонения: 1.3695;

0.0812; 1.0037

На рис. 2а и б представлены зависимости десятичных логарифмов тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции (а), и тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения (б) от температуры термостатирования. Согласно данным (рис. 2а) зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции от температуры термостатирования для минерального масла, описываются линейным уравнением (кривая 1). Линейность зависимости установлена и для частично синтетического масла (кривая 2) в температурном интервале до 280°C, однако начало изменения lgQ_D для этих масел начинается при температурах ниже 140°C.

Для синтетического масла установлено два участка зависимости: начальный участок – линейный до температуры 220°C, а второй описывается полиномом второго порядка, причем изменение lgQ_D начинается от температуры 160°C.

Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения (рис. 2б), описываются линейным уравнением для минерального масла (кривая 1), а для частично-синтетического и синтетического масел зависимости имеют два участка с различной интенсивностью испарения lgQ_G .

Представленные на рис. 2а и б зависимости позволяют определить температуры начала изменения десятичных логарифмов тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции и испарения, а также сравнивать масла по значениям тепловой энергии в процессах деструкции испарения.

Например, при температуре термостатирования 220°C количество тепловой энергии, поглощенной продуктами деструкции для масел, составило: минерального – $lgQ_D = 2.57$ или 371.54; частично-синтетического – $lgQ_D = 1.75$ или 56.23; синтетического – $lgQ_D = 2.1$ или 125.89. Для испаряемости при этой температуре количество тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения составило для масел: минерального – $lgQ_G = 4.05$ или 11220.18; частично-синтетического – $lgQ_G = 3.2$ или 1584.89; синтетического – $lgQ_G = 4.2$ или 15848.93. Согласно данным показано, что на испарение тратится тепловой энергии на порядок больше.

На рис. 3 представлены зависимости

десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции, от десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения. Данные зависимости описываются линейными уравнениями для масел:

$$\text{Минерального} \quad lgQ_D = 1.429lgQ_G - 3.225 \quad (7)$$

$$\text{Частично синтетического} \quad lgQ_D = 2.271lgQ_G - 5.386 \quad (8)$$

$$\text{Синтетического} \quad lgQ_D = 1.598lgQ_G - 4.604 \quad (9)$$

Коэффициенты корреляции составили: 0.999; 0.993; 0.999;

Средние квадратические отклонения: 0.0297; 0.0658; 0.0306

где 1.429; 2.271 и 1.598 – коэффициенты, характеризующие скорость изменения десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции; свободные члены 3.225; 5.386; 4.604 – характеризуют потенциальную энергию, которую необходимо накопить смазочному маслу, чтобы началось изменение десятичного логарифма тепловой энергии lgQ_D .

Согласно данным (рис. 3) наименьшая скорость изменения lgQ_D установлена для минерального масла 1.429 (кривая 1), а наибольшая 2.271 установлена для частично синтетического (кривая 2). Кроме того, установлено, что зависимости (рис. 3) пересекают ось абсцисс (lgQ_D) в точках, характеризующих величину десятичного логарифма тепловой энергии,

поглощенной продуктами испарения, при которых начинаются изменения десятичного логарифма тепловой энергии lgQ_D . Эти величины lgQ_D составили для масел: минерального 2.257; частично синтетического 2.372 и синтетического 2.881.

Выводы. На основании проведенных испытаний установлено:

1. При термостатировании моторных масел вначале происходит испарение и после накопления определенного количества тепловой энергии начинают проявляться процессы температурной деструкции, вызывающие увеличение оптической плотности.

2. Установлены линейные зависимости между десятичными логарифмами тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции, и десятичными логарифмами тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения, причем количество тепловой энергии, поглощенной продуктами деструкции, меньше количества тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения и зависит от базовой основы масла. Для улучшения противоизносных свойств масел необходимо повышать температуру начала испарения.

3. Показано, что скорость изменения десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции, выше скорости изменения тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения, независимо от базовой основы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеевский, Р. М. Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов / Р. М. Матвеевский. – М.: Наука, 1971. – 227с.
2. Матвеевский, Р. М. Противогадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки / Р. М. Матвеевский, И. А. Буяновский, О. В. Лазовская. – М.: Наука. – 1978. – 198 с.
3. Мышкин, Н. К. Определение температурной стойкости граничных слоев / Н.К. Мышкин, В. А. Кончиу // Трение и износ. – 1981. – Т. 11. – № 4. – С. 725-728.
4. А.с. № 1525576 СССР. МПК G 01 № 33/30. Способ определения термической стабильности смазочного масла / П. Ф. Григорьев, О. А. Лебедев, 1989. Бюл. № 44.
5. ГОСТ 23.221 – 84. Метод экспериментальной оценки температурой стойкости смазочных материалов при трении.
6. Патент № 2240558 СССР. МПК G 01 № 33/30. Способ определения термической стабильности смазочного масла / Б. И. Ковальский, С. И. Васильев, С. Б. Ковальский; опубл. 20.11.2004. Бюл. № 32.
7. Патент № 2599015 РФ. МПК G 01 № 33/30. Способ определения температурной стойкости смазочных масел / Б. И. Ковальский, О. Н. Петров, Ю. Н. Безбородов, В. Г. Шрам; опубл. 10.10.2016. Бюл. № 28.
8. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применения: справочник / И. Г. Анисимов, К. М. Бадыхова, С. А. Бачив[и др.]; под ред. В. М. Школьников. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: издат. центр «Техинформ», 1999 – 596с.
9. Виноградова И. Э. Противоизносные присадки к маслам / И. Э. Виноградова. – М.: Химия, 1972. – 272 с.
10. Непогодьев А. В. Механизм окисления масла в поршневых двигателях // Химия и технология топлив и масел, 1977, № 4. с. 34-38.

11. Ковальский, Б. И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б. И. Ковальский. – Новосибирск: Наука. – 2005. – 341 с.
12. Безбородов Ю. Н. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных материалов по параметрам термоокислительной стабильности и температурной стойкости: Монография / Ю. Н. Безбородов, Б. И. Ковальский, Н. Н. Малышева, А. Н. Сокольников, Е. Г. Мальцева – Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, Ин-т нефти и газа. — Красноярск : СФУ, 2011. – 358 с.
13. Скиндер, Н. И. Переносной комплекс средств экспресс-диагностики исправного моторного масла / Н. И. Скиндер, Ю. А. Гурьянов // НТТМ. – 2001 – Т. 1. – с. 38-40.
14. Fhoenes, H. W. Evfahrungen mit der Vickers - Emgelse - uenpumpe / H. W. Fhoenes, K. Baner, P. Herman // schiertechnik Tribologie. – 1978 – №4, август. S9.
15. Стадт П. Граничная смазка: Tribology Int. – 1989 (22). – № 2. – С. 111-119.

REFERENCES

1. Matveevsky, R. M. Temperature resistance of boundary lubricating layers and solid lubricating coatings during friction of metals and alloys / R. M. Matveevsky. – М.: Наука, 1971. – 227p.
2. Matveevsky, R. M. Anti-seize resistance of lubricants during friction in the boundary lubrication mode / R. M. Matveevsky, I. A. Buyanovskiy, O. V. Lazovskaya. – М.: Science. – 1978. — 198 p.
3. Myshkin, N. K. Determination of temperature resistance of boundary layers / N.K. Myshkin, V. A. Konchiu // Friction and wear. – 1981. – Т. 11. – No. 4. – P. 725-728.
4. A.S. No. 1525576 USSR. IPC G 01 No. 33/30. Method for determining the thermal stability of lubricating oil / P. F. Grigoriev, O. A. Lebedev, 1989. Bul. No. 44.
5. GOST 23.221 – 84. Method for experimental evaluation of the temperature resistance of lubricants during friction.
6. Patent No. 2240558 USSR. IPC G 01 No. 33/30. Method for determining the thermal stability of lubricating oil / B. I. Kovalsky, S. I. Vasiliev, S. B. Kowalski; publ. 20.11.2004. Bul. No. 32.
7. Patent No. 2599015 RF. IPC G 01 No. 33/30. Method for determining the temperature resistance of lubricating oils / B. I. Kovalsky, O. N. Petrov, Yu. N. Bezborodov, V. G. Scar; publ. 10.10.2016. Bul. No. 28.
8. Fuels, lubricants, technical fluids. Range and applications: reference book / I.G. Anisimov, K. M. Badyichova, S. A. Bachiv [and others]; ed. V. M. Shkolnikov. Ed. 2nd revised and add. – М.: publ. Center "Techinform", 1999 – 596s.
9. Vinogradova I. E. Antiwear additives to oils / I. E. Vinogradov. – М.: Chemistry, 1972 – 272 p.
10. Nepogodiev A. B. The mechanism of oil oxidation in piston engines // Chemistry and technology of fuels and oils, 1977, No. 4. p. 34-38.
11. Kovalsky, B. I. Methods and means of increasing the efficiency of using lubricants / B.I. Kowalski. – Novosibirsk: Science. – 2005. — 341s.
12. Yu. N. Bezborodov Methods for monitoring and diagnostics of the operational properties of lubricants by the parameters of thermal-oxidative stability and temperature resistance: Monograph / Yu. N. Bezborodov, B. I. Kovalsky, N. N. Malysheva, A. N. Sokolnikov, E. G. Maltseva – Krasnoyarsk: Sib. federal un-t, Institute of oil and gas. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2011.— 358 p.
13. Skinder, N.I. Portable complex of means of express diagnostics of serviceable engine oil / N.I. Skinder, Yu. A. Guryanov // НТТМ. – 2001 – Т. 1. – p. 38-40.
14. Fhoenes, H. W. Evfahrungen mit der Vickers – Emgelse – uenpumpe / H. W. Fhoenes, K. Baner, P. Herman // schiertechnik Tribologie. – 1978 – No. 4, August. S9.
15. Stadt P. Boundary lubrication: Tribology Int. – 1989 (22). – No. 2. – P. 111-119.

Поступило в редакцию 10.12.2020

Received 10 December 2020