

Научная статья

УДК 61.51:52.45.19

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-3-32-40

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ПРОДУКТОВ
ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТОЙКОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ****Рябинин Александр Александрович,
Лысянникова Наталья Николаевна,
Плахотникова Марина Анатольевна**

Сибирский федеральный университет

*для корреспонденции: aaryabinin@sfu-kras.ru.ru

**Информация о статье**

Поступила:

12 апреля 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

7 июня 2022 г.

Принята к публикации:

17 июня 2022 г.

Ключевые слова:*оптическая плотность;
испаряемость; тепловая
энергия; десятичный
логарифм тепловой энергии;
температура
термостатирования***Аннотация.**

Научное и практическое значение представляют исследования связи между продуктами температурной деструкции и испарения моторных масел различной базовой основы с учетом тепловой энергии, поглощенной этими продуктами, и ее влияния на процессы, протекающие при окислении смазочного материала, противоположные свойства и ресурс. 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 противоположные свойства окисленных и термостатированных масел.

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 температурной деструкции и десятичными логарифмами тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения. Установлено, что процессы температурной деструкции начинаются после испарения необходимой массы смазочного материала, т.е. при термостатировании смазочных масел в первую очередь происходят процессы испарения и после накопления определенного количества тепловой энергии происходит обоюдное увеличение концентрации продуктов температурной деструкции и испарения.

Для цитирования: Рябинин А.А., Лысянникова Н.Н., Плахотникова М.А. Метод определения энергетической связи продуктов температурной стойкости смазочных материалов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 3 (151). С. 32-40. doi: 10.26730/1999-4125-2022-3-32-40

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 – 6] или в объеме по

лаконагарообразованию [7 – 9]. Разработан стандарт для определения температурной стойкости смазочных масел при трении [10]. Для повышения информативности метода оценки температурной стойкости применяют такие показатели, как кинематическая вязкость, коэффициент энергетического состояния, температура начала нагарообразования, оптическая плотность, индекс вязкости и др. [11 – 14].

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. Однако при термостатировании в широком температурном интервале, например, от 140 до 300 °С, 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 ее избыток он «сбрасывает» в виде продуктов температурной деструкции и испарения. В этой связи целью настоящих исследований является применение энергетического метода при характеристике процессов температурной деструкции и испарения, что позволит сравнивать эти процессы.

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

Методика исследования заключается в следующем. Пробу масла постоянной массы помещают в прибор для термостатирования в диапазоне температур от 140 до 300°С в течение 8 ч 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 ч термостатирования пробу масла взвешивают, определяют массу испарившегося масла G , часть пробы фотометрируют, определяют оптическую плотность D

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

где 300 – показания фотометра при незаполненной маслом кювете, мкА; P – 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

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

По полученным данным 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°С 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 определяются более энергоемкие процессы.

Результаты исследования и их обсуждение. На рис. 1, а и б 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 установлено две температурные области с низкой скоростью изменения оптической плотности и высокой. Более термостойким является частично синтетическое масло (кривая 2), а менее термостойким – минеральное (кривая 1).

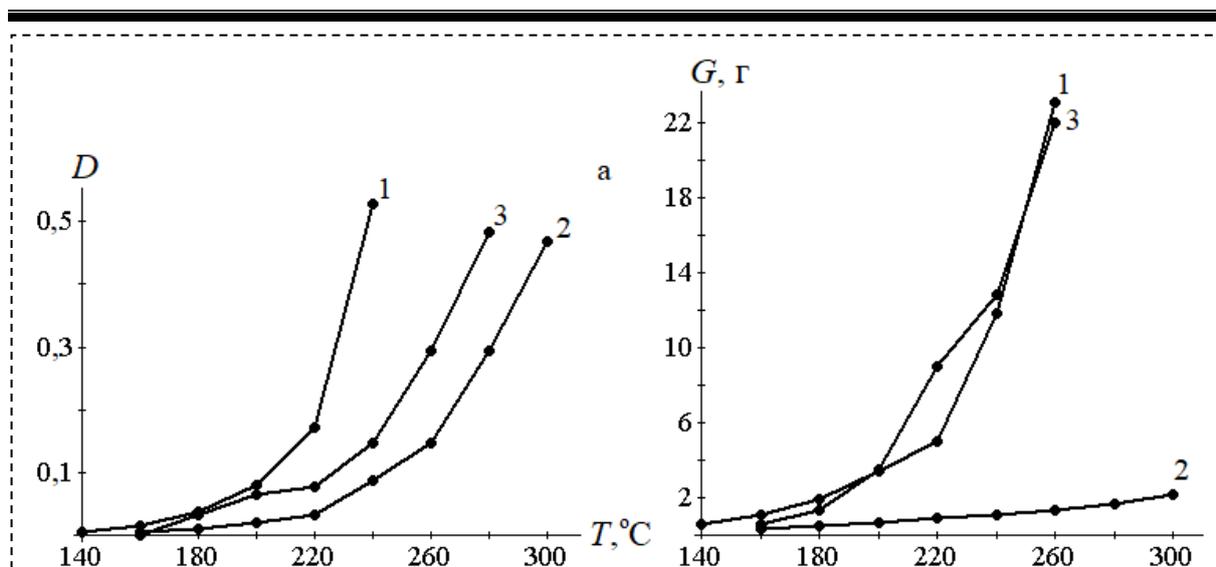


Рис. 1. Зависимости оптической плотности (а) и испаряемости (б) от температуры термостатирования моторных масел за время 8 часов: 1 – минерального Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC; 2 – частично синтетического Spectrol Капитал 5W-40 SJ/CF; 3 – синтетического Лукойл Genesis Advanced 10W-40 SN/CF

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

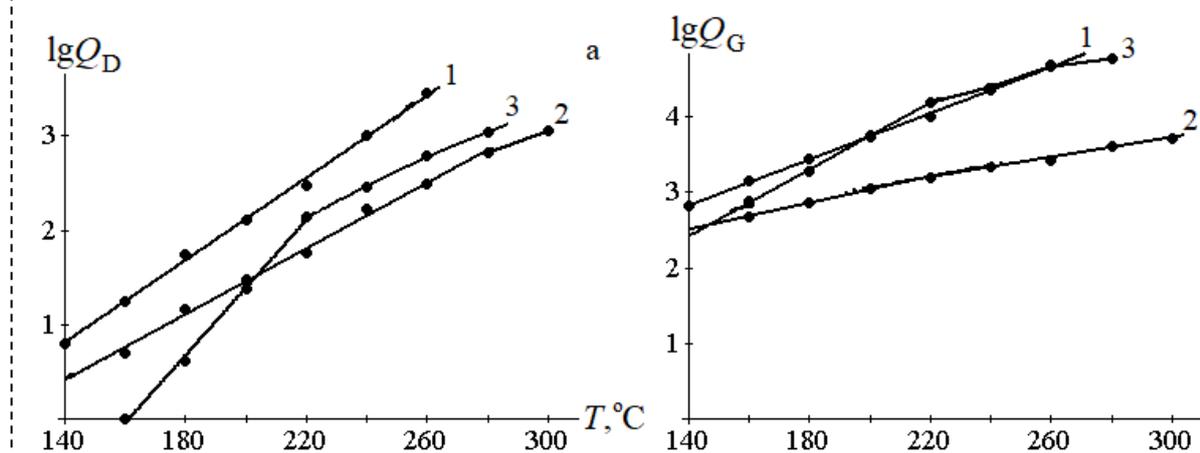


Рис. 2. Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции (а) и испарения (б) от температуры термостатирования моторных масел: 1 – минерального Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC; 2 – частично синтетического Spectrol Капитал 5W-40 SJ/CF; 3 – синтетического Лукойл Genesis Advanced 10W-40 SN/CF (температурный интервал испытания от 140 до 300 °C)

Fig. 2. Dependences of the decimal logarithm of thermal energy absorbed by the products of thermal destruction (a) and evaporation (b) on the temperature of thermostating 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 SN / CF (test temperature range from 140 to 300 °C)

Испаряемость масел (рис. 1, б) установлена менее летучей также для частично синтетического масла (кривая 2), а минеральное и синтетическое масла показали практически одинаковую испаряемость. Эти данные позволяют потребителям обосновано выбирать более термостойкие масла, ресурс которых при эксплуатации техники будет максимальным. Однако летучие масла могут вызывать испарения масляного слоя на поверхностях трения и вызывать схватывание, поэтому для производителей смазочных масел стоит проблема повышения устойчивости масла против температурной деструкции или повышения температуры начала испарения. Для этого в работе предложено использовать энергоёмкость процессов температурной деструкции и испаряемости и по значениям энергий принимать решение по

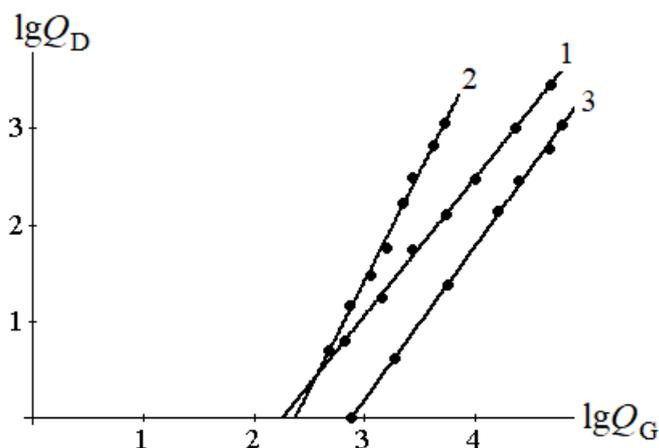


Рис. 3. Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции от десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения в температурном интервале от 140 до 300 °С при испытании моторных масел: 1 – минерального Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC;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

улучшению смазочного масла.

На рис. 2 а 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. 2 а), 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°С, однако начало изменения $\lg Q_D$ для этих масел начинается при температурах ниже 140°С.

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

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

Представленные на рис. 2 а 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 и испарения. Например, при температуре термостатирования 220°С количество тепловой энергии, поглощенной продуктами деструкции для масел составило: минерального – $\lg Q_D = 2,57$ или 371,54; частично синтетического – $\lg Q_D = 1,75$ или 56,23; синтетического – $\lg Q_D = 2,1$ или 125,89. Для испаряемости при этой температуре количество тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения, составило для масел: минерального – $\lg Q_G = 4,05$ или 11220,18; частично синтетического – $\lg Q_G = 3,2$ или 1584,89; синтетического – $\lg Q_G = 4,2$ или 15848,93. Согласно данным показано, что на испарение тепловой энергии тратится 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:

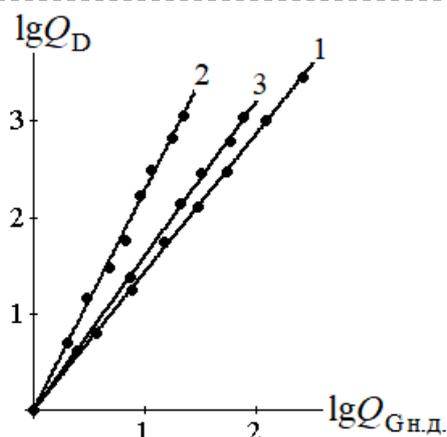


Рис. 4. Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции от десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения при начале процессов температурной деструкции моторных масел: 1 – минерального Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC; 2 – частично синтетического Spectrol Капитал 5W-40 SJ/CF; 3 – синтетического Лукойл Genesis Advanced 10W-40 SN/CF

Fig. 4. Dependences of the decimal logarithm of thermal energy absorbed by the products of temperature destruction on the decimal logarithm of the thermal energy absorbed by the products of evaporation at the beginning of the processes of thermal destruction 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 SN / CF

минерального

$$\lg Q_D = 1,429 \lg Q_G - 3,225, (4)$$

частично синтетического
синтетического

$$\lg Q_D = 2,271 \lg Q_G - 5,386, (5)$$

$$\lg Q_D = 1,598 \lg Q_G - 4,604, (6)$$

где 1,429; 2,271 и 1,598 – коэффициенты, характеризующие скорость изменения десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами тепловой деструкции; свободные члены 3,225; 5,386; 4,604 – характеризуют потенциальную энергию, которую необходимо накопить смазочному маслу, чтобы началось изменение десятичного логарифма тепловой энергии $\lg Q_D$.

Коэффициенты корреляции составили: 0,999; 0,993; 0,999.

Средние квадратические отклонения: 0,0297; 0,0658; 0,0306.

Согласно данным (рис. 3), наименьшая скорость изменения $\lg Q_D$ 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 ($\lg Q_G$) в точках, характеризующих величину десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения, при которых начинаются изменения десятичного логарифма тепловой энергии $\lg Q_D$. Эти величины $\lg Q_G$ составили для масел: минерального – 2,257; частично синтетического – 2,372 и синтетического 2,881. Если от значений десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения $\lg Q_G$, вычесть значения $\lg Q_G$, вычисленных при пересечении оси абсцисс и обозначить его как $\lg Q_{Gн.д.}$ – десятичный логарифм тепловой энергии поглощенной продуктами испарения с учетом начала процесса температурной деструкции, и построить графическую зависимость десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции от десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения $\lg Q_{Gн.д.}$ с учетом начала процессов деструкции (рис. 4), то они будут построены с начала координат. Данные зависимости описываются линейными уравнениями для масел:

минерального (кривая 1)

$$\lg Q_D = 1,42 \lg Q_{Gн.д.}, (7)$$

частично синтетического (кривая 2)

$$\lg Q_D = 2,258 \lg Q_{Gн.д.}, (8)$$

синтетического (кривая 3)

$$\lg Q_D = 1,6 \lg Q_{Gн.д.}, (9)$$

Коэффициенты 1,42; 2,258; 1,6 характеризуют скорость изменения десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции.

Установлено, что наименьшей скоростью образования продуктов деструкции – 1,42 – характеризуется минеральное масло, а наибольшей – частично синтетическое – 2,258.

Выводы. На основании проведенных испытаний установлено:

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

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 необходимо повышать температуру начала испарения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скutelный В. В. [и др.] Влияние температурного режима масла на износ элементов трансмиссии транспортных машин // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 11(82). С. 220-223.
2. Спицын И. А. Теоретические предпосылки терморегулирования полимер содержащей смазочной среды при приработке зубчатых колёс // Нива Поволжья. 2017. № 3(44). С. 101-106.
3. Лесневский Л. Н. [и др.] Неорганические твердые смазочные покрытия для тепловых двигателей и энергоустановок // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2015. № 5. С. 74-84.
4. Власов Ю. А. [и др.] Требования, предъявляемые к автомобильным маслам // Проблемы современной науки и образования. 2016. № 4(46). С. 40-43.
5. Зарубин В. П. [и др.] О выборе смазки подшипников качения пожарной техники // Пожарная и аварийная безопасность: Сборник материалов XII международной научно-практической конференции, посвященной году гражданской обороны, Иваново, 29–30 ноября 2017 года. Иваново : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2017. С. 291-293.
6. Власов Ю. А. [и др.] Стенд для испытания работоспособности системы смазки силовых агрегатов транспортных и самоходных машин // Научные основы развития АПК : Сборник научных трудов по материалам XXII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Томск, 15 мая – 15 2020 года. Томск : Издательский центр «Золотой колос», 2020. С. 88-91.
7. Анферов В. Н. [и др.] Влияние вязкости масла на коэффициент трения в спироидном зацеплении // Политранспортные системы : Материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия - ЕС "Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке", Новосибирск, 20–21 ноября 2014 года. Новосибирск : Сибирский государственный университет путей сообщения, 2015. С. 676-683.
8. Мирзаев С. С. [и др.] Основные химмотологические требования к смазочным нефтяным маслам и улучшение их качеств // Молодой ученый. 2016. № 2(106). С. 180-182.
9. Рощин М. Н. Исследование смазочных свойств железнодорожных смазок // Приоритетные направления исследований в рамках естественных и технических наук в XXI веке: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Белгород, 27 февраля 2018 года / Под общей редакцией Е.П. Ткачевой. Белгород : Общество с ограниченной ответственностью «Агентство перспективных научных исследований», 2018. С. 208-212.
10. Кашенко А. И., Кравцова Е. Г. Методы исследования смазочных материалов // Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы: материалы II международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 21 декабря 2018 года / Ответственный редактор Э. И. Забнева. Новокузнецк : ИП Кеньшенская Виктория Валерьевна (издательство «Зебра»), 2018. С. 77-78.
11. Dai W. [et al.] Roles of nanoparticles in oil lubrication // Tribology International. 2016. Vol. 102. P. 88-98. DOI 10.1016/j.triboint.2016.05.020.
12. Gulzar M. [et al.] Tribological performance of nanoparticles as lubricating oil additives // Journal of Nanoparticle Research. 2016. Vol. 18. No 8. P. 223. DOI 10.1007/s11051-016-3537-4.
13. Luo T. [et al.] Tribological properties of Al₂O₃ nanoparticles as lubricating oil additives // Ceramics

International. 2014. Vol. 40. No 5. P. 7143-7149. DOI 10.1016/j.ceramint.2013.12.050.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Рябинин Александр Александрович, Сибирский федеральный университет, (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82/6), канд. техн. наук, aaryabinin@sfu-kras.ru

Лысянникова Наталья Николаевна, Сибирский федеральный университет, (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82/6), канд. техн. наук, nmalysheva@sfu-kras.ru

Плахотникова Марина Анатольевна, ст. преподаватель, Сибирский федеральный университет, (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82/6), mplakhotnikova@sfu-kras.ru

Заявленный вклад авторов:

Рябинин Александр Александрович – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Лысянникова Наталья Николаевна – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Плахотникова Марина Анатольевна – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

METHOD FOR DETERMINING THE ENERGY BOND OF THE PRODUCTS OF THE TEMPERATURE RESISTANCE OF LUBRICANTS

Alexander A. Ryabinin, Natalia N. Lysyannikova,
Marina A. Plakhotnikova

Siberian Federal University

*for correspondence: aaryabinin@sfu-kras.ru.ru

**Article info**Submitted:
12 April 2022Approved after reviewing:
7 June 2022Accepted for publication:
17 June 2022**Keywords:** optical density;
volatility; thermal energy;
decimal logarithm of thermal
energy; thermostating
temperature**Abstract.**

Of scientific and practical importance are studies of the relationship between the products of thermal degradation and evaporation of motor oils of various basic bases, taking into account the thermal energy absorbed by these products for the processes occurring during the oxidation of the lubricant, anti-wear properties and service life. For this purpose, a set of instruments was used, including: a device for testing the thermal stability of oils in the temperature range from 160 to 300 °C; photometric device for direct photometry; device for determining thermal-oxidative stability; low-volume viscosimeter; device for testing rubbing materials; digital microscope; laboratory balances that make it possible to determine optical properties, kinematic viscosity, volatility and anti-wear properties of oxidized and temperature-controlled oils.

The results of testing motor oils of various basic bases for temperature stability are presented, taking into account the thermal energy absorbed by the products of thermal degradation and evaporation. Linear dependencies between the decimal logarithms of the thermal energy absorbed by the thermal destruction products and the decimal logarithms of the thermal energy absorbed by the evaporation products are established. It has been established that the processes of thermal degradation begin after the evaporation of the required mass of the lubricant, i.e. when lubricants are being thermostated, first of all, evaporation processes occur, and after the accumulation of a certain amount of thermal energy, a mutual increase in the concentration of products of thermal destruction and evaporation occurs.

For citation: Ryabinin A.A., Lysyannikova N.N., Plakhotnikova M.A. Method for determining the energy bond of the products of the temperature resistance of lubricants. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 3(151):32-40. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-3-32-40

REFERENCES

1. Skutelnik, V.V., Malomyzhev O.L., Fadeev D.S. Influence of oil temperature regime on the wear of transmission elements of transport vehicles. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2013; 11(82): 220-223.
2. Spitsyn I.A. Theoretical prerequisites for thermal control of a polymer-containing lubricating medium during the running-in of gears. *Niva Povolzhya*. 2017; 3(44): 101-106.
3. Lezhnevskiy L.N. [et al.] Inorganic solid lubricating coatings for thermal engines and power plants. *Machine reliability*. 2015; 5: 74-84.
4. Vlasov Yu.A. [et al.] Requirements for automotive oils. *Problems of modern science and education*. 2016; 4(46): 40-43.
5. Zarubin V.P. [et al.] On the choice of grease for rolling bearings of fire fighting equipment. *Fire and emergency safety: Collection of materials of the XII international scientific and practical conference dedicated to the year of civil defense, Ivanovo, November 29–30, 2017*. Ivanovo: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief". 2017. P. 291-293.
6. Vlasov Yu.A. [et al.] Stand for testing the performance of the lubrication system of power units of transport and self-propelled machines. *Based on the materials of the XXII All-Russian (national) scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists with international participation*. Tomsk: Publishing Center "Golden Ear";

2020. P. 88-91.

7. Anferov V.N., Tkachuk A.P., Shishlova I.V., Kovalenko R.K. Influence of oil viscosity on the coefficient of friction in spiroid gearing. *Polytransport systems: Materials VIII International scientific and technical conference within the framework of the year of science Russia - EU "Scientific problems of the implementation of transport projects in Siberia and the Far East"*. Novosibirsk: Siberian State University of Communications, 2015. P. 676-683.

8. Mirzaev, S.S. [et al.] Basic chemical requirements for lubricating petroleum oils and improvement of their qualities. *Young scientist*. 2016; 2(106): 180-182.

9. Roshchin M.N. Study of the lubricating properties of railway lubricants // Priority areas of research in the framework of natural and technical sciences in the XXI century: Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference, Belgorod, February 27, 2018 year / Under the general editorship of E.P. Tkacheva. Belgorod: Limited Liability Company "Agency for Advanced Scientific Research"; 2018. P. 208-212.

10. Kashchenko A. I. Methods for the study of lubricants / A. I. Kashchenko, E. G. Kravtsova // Questions of modern science: problems, trends and prospects: materials of the II international scientific and practical conference, Novokuznetsk, December 21, 2018 of the year. Managing editor E. I. Zabneva. Novokuznetsk: IP Kenshenskaya Victoria Valerievna (Zebra publishing house); 2018. P. 77-78.

11. Dai W. [et al.] Roles of nanoparticles in oil lubrication. *Tribology International*. 2016; 102: 88-98. DOI 10.1016/j.triboint.2016.05.020.

12. Gulzar M. [et al.] Tribological performance of nanoparticles as lubricating oil additives. *Journal of Nanoparticle Research*. 2016; 18(8)223. DOI 10.1007/s11051-016-3537-4.

13. Luo T. [et al.] Tribological properties of Al₂O₃ nanoparticles as lubricating oil additives. *Ceramics International*. 2014; 40(5): 7143-7149. DOI 10.1016/j.ceramint.2013.12.050.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Alexander A. Ryabinin, Siberian Federal University, (82/6, pr. Svobodnyy, Krasnoyarsk, 660041), C. Sc. in Engineering, aaryabinin@sfu-kras.ru

Natalia N. Lysyannikova, Siberian Federal University, (82/6, pr. Svobodnyy, Krasnoyarsk, 660041), C. Sc. in Engineering, nmalysheva@sfu-kras.ru

Marina A. Plakhotnikova, senior lecturer, Siberian Federal University, (82/6, pr. Svobodnyy, Krasnoyarsk, 660041), mplakhotnikova@sfu-kras.ru

Contribution of the authors:

Alexander A. Ryabinin – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

Natalia N. Lysyannikova – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

Marina A. Plakhotnikova – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

