

**МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ,
ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
METHODS AND DEVICES FOR MONITORING AND DIAGNOSTICS OF
MATERIALS, PRODUCTS, SUBSTANCES AND THE NATURAL ENVIRONMENT**

Научная статья

УДК 621.892.2

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-50-55

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО
ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ЧАСТИЧНО-СИНТЕТИЧЕСКОГО МОТОРНОГО
МАСЛА ЛУКОЙЛ СУПЕР 10W - 40 SG/CD НА ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ,
ПОГЛОЩЕННУЮ ПРОДУКТАМИ ОКИСЛЕНИЯ**

Рябинин Александр Александрович

Сибирский федеральный университет

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



Информация о статье

Поступила:

09 декабря 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

22 июня 2025 г.

Принята к публикации:

30 июня 2025 г.

Опубликована:

28 августа 2025 г.

Ключевые слова:

оптическая плотность,
тепловая энергия, десятичный
логарифм тепловой энергии,
температура
термостатирования,
энергоемкость,
потенциальная энергия.

Аннотация.

Представлены результаты испытания предварительно термостатированного частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W–40 SG/CD на температурную стойкость с учетом тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления.

Установлены линейные зависимости между десятичными логарифмами тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления, от десятичного логарифма времени термостатирования исследуемого масла. Затем определялся десятичный логарифм тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления, определяющий время начала процессов окисления и необходимую накопленную потенциальную энергию. Определили десятичный логарифм тепловой энергии, позволяющий выделить время, когда начинается процесс окисления. Это критически важно, так как точное определение момента начала окислительной реакции позволяет прогнозировать устойчивость масла и его возможность использования в различных применениях.

Используя полученные данные, были установлены регрессионные уравнения, описывающие скорость начала процессов окисления в товарном и термостатированном маслах. Регрессионный анализ предоставляет количественные данные о том, как скорость окисления зависит от условий термостатирования и других факторов, таких как температура предварительного термостатирования и концентрация окислителей (продуктов деструкции), присутствующих в системе.

В результате проведенной работы были собраны и проанализированы ценные аналитические данные, которые предоставляют важные знания для исследования масел различных базовых основ. Данные основаны на результате изучения термодинамических процессов, которые происходят в маслах во время термостатирования, а также взаимодействия между маслами и продуктами их окисления.

Одним из основных выводов является то, что различные условия термостатирования значительно влияют на скорость начала процессов окисления. Например, используя оптимальные параметры термостатирования, можно замедлить окислительные реакции и тем самым сохранить свойства масла на более длительный период.

Для цитирования: Рябинин А.А. Исследование влияния предварительного термостатирования частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W - 40 SG/CD на тепловую энергию, поглощенную продуктами окисления // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 4 (170). С. 50-55. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-50-55, EDN: BGFFTF

Введение

Воздействие температуры на смазочный материал является одним из ключевых факторов при его работе в трущихся деталях и механизмах, при этом каждая смазочная система «трущаяся пара со сформированной масляной пленкой» должна поддерживать заложенные эксплуатационные показатели, одним из которых является температурная стойкость, характеризующая продолжительную работоспособность в рамках рекомендуемого диапазона (тыс. км или моточасы), а также температуру деструкции и присадок, входящих в состав смазочного материала.

Данный показатель обычно определяется непосредственно при трении по изменению коэффициента трения от температуры испытания [1-4] или в объеме по лакононагарообразованию. Разработан стандарт для определения температурной стойкости смазочных масел при трении [5]. Для повышения информативности метода оценки температурной стойкости применяют такие показатели, как кинематическая вязкость, коэффициент энергетического состояния, температура начала нагарообразования, оптическая мощность, индекс вязкости и др. [6, 7]

С начала эксплуатации смазочной системы «трущаяся пара со сформированной масляной пленкой» масло начинает подвергаться воздействию повышенной температуры, а также механическому воздействию; с этого момента происходит активная работа присадок по препятствию окислению 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 160 до 300°C, происходят одновременно деструкция базового масла и присадок, поэтому критерий влияния предварительно термостатирования на тепловую энергию, поглощенную продуктами окисления, будет определяться зависимостями десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления, от десятичного логарифма времени и температуры термостатирования.

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 исследование влияния

предварительного термостатирования частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD на тепловую энергию, поглощенную продуктами температурной деструкции, что позволит ввести и сравнить критерий оценки и определить оптимальную температуру термостатирования.

Методы

Для исследования выбрано частично-синтетическое моторное масло Лукойл Супер 10W-40 SG/CD. В качестве средств контроля и испытания использовали: прибор для определения термоокислительной стабильности, фотометрическое устройство для прямого фотометрирования окисленных масел при толщине фотометрируемого слоя 2 мм и электронные весы для измерения массы испарившегося масла при испытании.

Методика исследования заключается в следующем. Проба предварительно термостатированного масла постоянной массы ($100 \pm 0,1$ г) заливалась в прибор для определения термоокислительной стабильности и термостатировалась при температуре 180°C (независимо от температуры предварительного термостатирования) с перемешиванием стеклянной мешалкой с частотой вращения 300 об/мин в течение 8 часов. После каждых 8 часов термостатирования отбиралась часть пробы (2 г) для прямого фотометрирования и определения оптической плотности D.

Испытания продолжались до достижения оптической плотности значения, равного $D=0,5-0,6$.

По полученным данным оптической плотности определялось количество тепловой энергии Q, поглощенной продуктами окисления, по формуле:

$$Q_D = T \cdot t \cdot D, \text{ ч} \cdot ^\circ\text{C} \quad (1)$$

где T – температура термостатирования масла (180°C), °C; t – время термостатирования, ч; D – оптическая плотность.

Полученными данными Q_D вычисляют десятичный логарифм тепловой энергии, поглощенной продуктами температурной деструкции $lg Q_D$.

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 окисления, от десятичного

логарифма времени и температуры термостатирования,

Результаты исследования

По полученным экспериментальным данным оптической плотности потребители моторных масел могут обоснованно выбирать более термостойкие масла, ресурс которых при эксплуатации техники будет максимальным.

На Рис. 1 и 2 представлены зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления, от десятичного логарифма времени и температуры термостатирования 180°C товарного и предварительно термостатированного частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD при температурах: 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300°C.

Приравняв регрессионные уравнения к нулю, можно определить координату точки пересечения зависимости $\lg Q_D = f(\lg t)$ с осью абсцисс, отражающей время термостатирования, через которое начинаются процессы окисления. Тогда потенциальную энергию можно выразить уравнением:

$$\lg Q_D = T^* \cdot t \cdot D, \quad (2)$$

где T – температура термостатирования масла (180°C), °C; t – время термостатирования, ч; D – оптическая плотность.

Обсуждение

Приравняв регрессионные уравнения в Таблице 1 к нулю, можно определить координату точки пересечения с осью, отражающей время термостатирования, через которое в масле начинаются процессы окисления. Например, для предварительно термостатированного товарного масла время начала процессов окисления 3,9 часа, а поглощенная энергия составила – 62,23, в то время как для масла, предварительно термостатированного при температуре 160°C, время начала процессов окисления – 1,87 часа, а поглощенная энергия – 4,95; 180°C – 3,37 часа и 32,50; 200°C – 3,07 часа и 16,68; 220°C – 2,77 часа и 13,67; 240°C – 1,67 часа и 3,633; 260°C – 1,09 часа и 1,217; 280°C – 1,87 часа и 5,6; 300°C – 1,45 часа и 2,43.

Выводы

На основании проведенных испытаний установлено:

1. В процессе термостатирования моторных масел сначала накапливается определенное количество тепловой энергии, а затем начинают

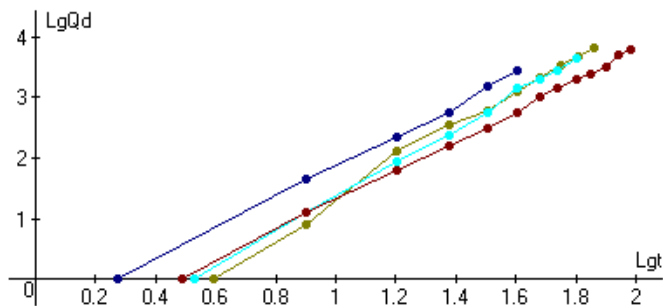


Рис. 1. Зависимость десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления, от десятичного логарифма времени и температуры термостатирования 180°C товарного и предварительно термостатированного частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD при температурах: — товарное; — 160°C; — 180°C; — 200°C

Fig. 1. Dependence of the decimal logarithm of thermal energy absorbed by oxidation products on the decimal logarithm of the time and temperature of thermostating 180°C commercial and pre-thermostatic partially synthetic motor oil Lukoil Super 10W-40 SG/CD at temperatures: — товарное; — 160°C; — 180°C; — 200°C

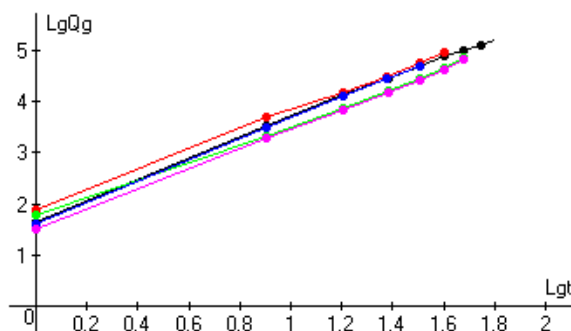


Рис. 2 Зависимость десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления, от десятичного логарифма времени и температуры термостатирования 180°C предварительно термостатированного частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD при температурах: — 220°C; — 240°C; — 260°C; — 280°C; — 300°C

Fig. 2. Dependence of the decimal logarithm of thermal energy absorbed by oxidation products on the decimal logarithm of the time and temperature of thermostating 180°C of pre-thermostatic partially synthetic motor oil Lukoil Super 10W-40 SG/CD at temperatures: — 220°C; — 240°C; — 260°C; — 280°C; — 300°C

проявляться процессы температурной деструкции, что приводит к увеличению оптической плотности.

2. Установлены линейные зависимости между десятичным логарифмом тепловой энергии, поглощаемой продуктами окисления, и

Таблица 1. Регрессионные уравнения
Table 1. Regression equations

Параметр	Регрессионное уравнение	Коэффициент корреляции	Среднее квадратическое отклонение
 товарное	$lgQ_d = 3,035 * lgt - 1,794$	0,9985	0,0357
 160°C	$lgQ_d = 2,556 * lgt - 0,695$	0,9985	0,0493
 180°C	$lgQ_d = 2,8626 * lgt - 1,5119$	0,9988	0,0412
 200°C	$lgQ_d = 2,5076 * lgt - 1,2222$	0,9987	0,0396
 220°C	$lgQ_d = 2,5604 * lgt - 1,1359$	0,9980	0,0511
 240°C	$lgQ_d = 2,5207 * lgt - 0,5603$	0,9997	0,0216
 260°C	$lgQ_d = 2,1426 * lgt - 0,0855$	0,9984	0,0481
 280°C	$lgQ_d = 2,7441 * lgt - 0,7481$	0,9997	0,0217
 300°C	$lgQ_d = 2,3787 * lgt - 0,3852$	0,9988	0,0415

десятичными логарифмами времени и температуры термостатирования. В результате наблюдается снижение объема тепловой энергии, необходимой для инициации процессов окисления смазочного материала при предварительном термостатировании. Такое снижение количества поглощаемой тепловой энергии свидетельствует о том, что предварительное термостатирование может значительно облегчить начало окислительных процессов, что, в свою очередь, может быть связано с изменением структурных характеристик масла. Например, возможно, что предварительное термостатирование стимулирует изменение химических связей в моторном масле, делая его более устойчивым к окислению. Данные результаты подчеркивают важность контроля термических условий при хранении и использовании смазочных материалов. Это позволяет оптимизировать процесс эксплуатации масел, увеличивая их срок службы и эффективность. При этом важно учитывать, что взаимодействие времени, температуры и поглощаемой тепловой энергии играет решающую роль в динамике окислительных процессов.

3. Проведенными исследованиями частично-синтетического моторного масла Лукойл Супер 10W-40 SG/CD установлено, что учет таких показателей, как скорость процессов окисления, потенциальная энергия, необходимая для начала процессов окисления, значения десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления, необходимо учитывать для подбора смазочного материала, а также это может быть использовано для расширения классификации смазочных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеевский Р. М. Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов М. : Наука, 1971. 227 с.
2. Матвеевский Р. М., Буяновский И. А.,

Лазовская О. В. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки. М. : Наука, 1978. 198 с.

3. Мышкин Н. К., Кончиу В. А. Определение температурной стойкости граничных слоев // 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 / Григорьев П. Ф., Лебедев О. А. 1989. Бюл. № 44.

5. Патент № 2240558 СССР. МПК G 01 № 33/30. Способ определения термической стабильности смазочного масла / Ковальский Б. И., Васильев С. И., Ковальский С. Б.; опубл. 20.11.2004. Бюл. № 32.

6. Патент № 2599015 РФ. МПК G 01 № 33/30. Способ определения температурной стойкости смазочных масел / Ковальский Б. И., Петров О. Н., Безбородов Ю. Н., Шрам В. Г.; опубл. 10.10.2016. Бюл. № 28.

7. Анисимов И. Г. [и др.] Ассортимент и применения: справочник / под ред. Школьников В. М. Изд. 2-е перераб. и доп. М. : издат. центр «Техинформ», 1999. 596 с.

8. Виноградова И. Э. Противоизносные присадки к маслам. М. : Химия, 1972. 272 с.

9. Непогодьев А. В. Механизм окисления масла в поршневых двигателях // Химия и технология топлив и масел. 1977 № 4. С. 34–38.

10. Ковальский Б. И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов. Новосибирск : Наука, 2005. 341 с.

11. Безбородов Ю. Н. [и др.] Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных материалов по параметрам термоокислительной стабильности и температурной стойкости: Монография. Красноярск, Сиб. федерал. ун-т, Ин-т нефти и газа. Красноярск : СФУ, 2011. 358 с.

12. Скиндер Н. И., Гурьянов Ю. А. Переносной комплекс средств экспресс-диагностики исправного моторного масла // НТТМ. 2001 Т. 1. С. 38–40.

13. Fhoenes H. W., Baner K., Herman P.

Evfahrungen mit der Vickers – Emgelse – uenpumpe // Schiertchnik Tribologie. 1978. № 4. S 9.

14. Стадт П. Граничная смазка: Tribology Int. 1989 (22). № 2. С. 111–119.

© 2025 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, к.т.н., e-mail: aaryabinin@sfu-kras.ru, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82/12

Заявленный вклад авторов:

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF PRELIMINARY THERMOSTATING OF PARTIALLY SYNTHETIC MOTOR OIL LUKOIL SUPER 10W - 40 SG/CD ON THERMAL ENERGY ABSORBED BY OXIDATION PRODUCTS

Alexander A. Ryabinin

Siberian Federal University

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



Article info

Received:

09 December 2024

Accepted for publication:

22 June 2025

Accepted:

30 June 2025

Published:

28 August 2025

Keywords: optical density, thermal energy, common logarithm of thermal energy, thermostating temperature, energy capacity, potential energy.

Abstract.

The results of testing pre-thermostatic partially synthetic motor oil Lukoil Super 10W-40 SG/CD for temperature resistance, taking into account the thermal energy absorbed by oxidation products, are presented

Linear relationships were established between the decimal logarithms of the thermal energy absorbed by oxidation products from the decimal logarithm of the thermostating time of the oil under study. Then the decimal logarithm of the thermal energy absorbed by oxidation products was determined, which determines the time of the onset of oxidation processes and the necessary accumulated potential energy. determined the decimal logarithm of thermal energy, which allows us to identify the time when the oxidation process begins. This is critically important, since accurate determination of the onset of the oxidation reaction allows us to predict the stability of the oil and its use in various applications.

Using the data obtained, regression equations were established that describe the rate of onset of oxidation processes in commercial and thermostated oils. Regression analysis provided quantitative data on how the oxidation rate depends on thermostating conditions and other factors such as pre-thermostat temperature and the concentration of oxidizers (degradation products) present in the system.

As a result of the work, valuable analytical data was collected and analyzed, which provides important knowledge for the study of oils of various base stocks. The data is based on the results of studying the thermodynamic processes that occur in oils during thermostating, as well as the interaction between oils and their oxidation products.

One of the main conclusions is that different thermostating conditions significantly affect the rate of onset of oxidation processes. For example,

using optimal thermostating parameters, it is possible to slow down oxidation reactions and thereby preserve the properties of the oil for a longer period.

For citation: Ryabinin A.A. Research of the influence of preliminary thermostating of partially synthetic motor oil Lukoil Super 10W - 40 SG/CD on thermal energy absorbed by oxidation products. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 4(170):50-55. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-50-55, EDN: BGFFTF

REFERENCES

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

© 2025 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, C. Sc. in Engineering, e-mail: aaryabinin@sfu-kras.ru, Siberian Federal University, 82/12, pr. Svobodniy, Krasnoyarsk, 660041

Contribution of the authors:

Alexander A. Ryabinin – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, data collection and analysis, conclusions, writing a text.

All authors have read and approved the final manuscript.

