

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

В. С. Янович, М. М. Рунда, М. В. Акимов

*Кафедра Ракетно-артиллерийского вооружения, mikhail-akimov-76@mail.ru,
Военный учебный центр им. Героя Российской Федерации
генерала армии Дубынина В. П.,
ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия*

Ключевые слова: критические температуры процессов окисления и испарения; потенциальная тепловая энергия; продукты окисления и испарения; температуры начала процессов окисления и испарения; тепловая энергия; термостатирование.

Аннотация: Представлены результаты исследования показателей термоокислительной стабильности с учетом тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления и испарения частично синтетического моторного масла TotalQuartz 10W-40 SL/CF, определяемой произведением температуры испытания на время и значение оптической плотности или испаряемости. Установлено, что зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления или испарения, от десятичного логарифма времени термостатирования описываются линейными уравнениями, что позволяет определить температуры начала процессов окисления и испарения, а также критические температуры данных процессов и потенциальные тепловые энергии, необходимые для начала процессов окисления и испарения, характеризующих сопротивляемость исследуемого масла температурным воздействиям.

Введение

Известно, что при термостатировании смазочных масел они не могут бесконечно поглощать тепловую энергию, поэтому избыток ее «сбрасывается» в виде продуктов окисления и испарения в моторном масле двигателя внутреннего сгорания автомобильной и специальной техники [1 – 3]. Эти два показателя вычисляются в разных единицах, поэтому для сравнения моторных масел необходим поиск новых методов определения показателей термоокислительной стабильности. Кроме того, температурные пределы работоспособности смазочных масел должны включать температуры начала процессов окисления и испарения, а также критические температуры данных процессов [4 – 6].

Цель исследования – апробация энергетического метода оценки процессов окисления и испарения при термостатировании моторных масел двигателей внутреннего сгорания техники.

Материалы и методы

В качестве средств контроля и испытания использовались прибор для термостатирования масел, фотометрическое устройство для прямого фотометрирования окисленных моторных масел двигателя внутреннего сгорания при толщине фото-

метрического слоя 2 мм и электронные весы для определения массы испарившегося масла двигателя внутреннего сгорания автомобильной и специальной техники.

Для исследования выбрано всесезонное синтетическое моторное масло двигателя внутреннего сгорания TotalQuartz 10W-40 SL/CF.

Методика исследования

Пробу моторного масла постоянной массы (100 ± 1) г термостатируют последовательно при температурах 160, 170, 180 и 190 °С, перемешивая с воздухом стеклянной мешалкой при постоянной частоте вращения 300 об/мин. Температура в процессе испытания поддерживается автоматически с помощью терморегулятора.

Через равные промежутки времени (8 ч) пробу окисленного моторного масла двигателя внутреннего сгорания взвешивают, определяют массу испарившегося моторного масла двигателя внутреннего сгорания автомобильной и специальной техники G , отбирают часть пробы (2 г) для прямого фотометрирования и вычисления оптической плотности D

$$D = \lg 300/\Pi, \quad (1)$$

где 300 – показания фотометра при отсутствии масла в кювете, мкА; Π – показатель фотометра при заполненной кювете окисленным моторным маслом двигателя внутреннего сгорания автомобильной и специальной техники, мкА.

Испытания исследуемого масла прекращались при достижении оптической плотности значений $D = 0,5 \dots 0,6$ при каждой температуре. По полученным данным оптической плотности и испаряемости определялась тепловая энергия, поглощенная продуктами окисления Q_D и испарения Q_G , за время испытания t при температуре T :

$$Q_D = TtD; \quad (2)$$

$$Q_G = TtG. \quad (3)$$

Затем вычислялись десятичные логарифмы тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления $\lg Q_D$ и испарения $\lg Q_G$.

По полученным данным строились графические зависимости от десятичного логарифма времени термостатирования.

Результаты исследования и обсуждения

На рисунке 1 представлены графические зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления, от десятичного логарифма времени и температуры термостатирования частично синтетического моторного масла двигателя внутреннего сгорания автомобильной и специальной техники автомобильного парка Российской Федерации.

Данные зависимости описываются линейными уравнениями:

$$\lg Q_D = 2,539 \lg t - 0,3046; \quad (4)$$

$$\lg Q_D = 2,456 \lg t - 0,6386; \quad (5)$$

$$\lg Q_D = 2,350 \lg t - 0,94; \quad (6)$$

$$\lg Q_D = 2,375 \lg t - 1,425. \quad (7)$$

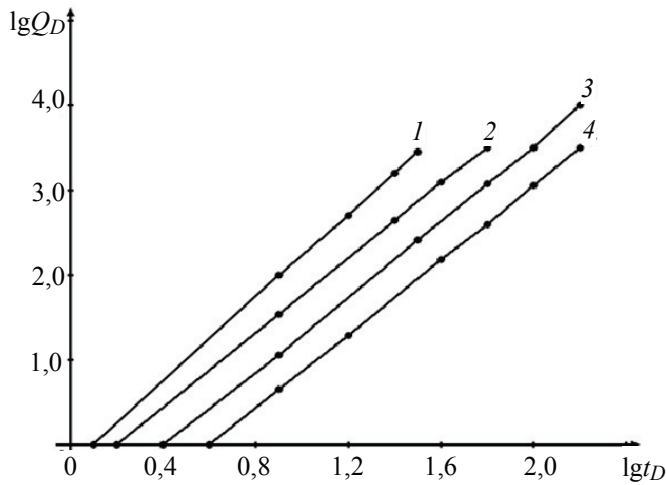


Рис. 1. Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления, от десятичного логарифма времени и температуры термостатирования частично синтетического моторного масла, °С:
 1 – 190; 2 – 180; 3 – 170; 4 – 160

Коэффициенты корреляции составили: 0,9997; 0,9997; 0,9995; 0,9995. В уравнениях (4) – (7) коэффициенты 2,539, 2,456, 2,35 и 2,375 характеризуют скорость изменения десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления моторного масла в двигателе внутреннего сгорания, от температуры термостатирования, а свободные члены уравнений определяют потенциальную тепловую энергию, необходимую для начала процессов окисления в моторном масле двигателя внутреннего сгорания. На рисунке 2 представлена зависимость потенциальной тепловой энергии, необходимой для начала процессов окисления исследуемого моторного масла двигателя внутреннего сгорания, от температуры термостатирования при $\lg t_D = 0$.

Данная зависимость описывается линейным уравнением

$$P_3 = 0,033T - 6,58, \quad (8)$$

коэффициент корреляции 0,9999.

Решая уравнение (8), определяем критическую температуру процессов окисления моторного масла двигателя внутреннего сгорания автомобильной и специальной техники $T = 199$ °С.

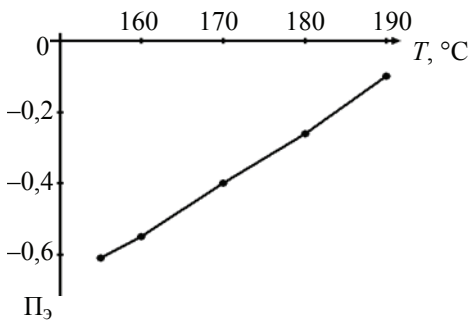


Рис. 2. Зависимость потенциальной тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления, от температуры термостатирования при $\lg t_D = 0$

Важными эксплуатационными показателями моторных масел двигателя внутреннего сгорания являются температура начала процессов окисления и критическая температура, определяющие температурную область применения.

Для определения критической температуры процесса окисления необходимо использовать координаты точек пересечения зависимостей (см. рис. 1) с осью абсцисс; температуры

начала процесса окисления – значения десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления при $\lg t_D = 0,903$. По полученным данным построены зависимости (рис. 3, а, б).

Данные зависимости описываются линейными уравнениями:

$$\lg t_D = -0,016T + 3,16, \quad (9)$$

коэффициент корреляции 0,998;

$$\lg Q_D = 0,04267T - 6,1073, \quad (10)$$

коэффициент корреляции 0,994.

Решая уравнение (9), определяем критическую температуру процесса окисления $T = 197$ °С, а уравнение (10) – температуру начала процесса окисления исследуемого частично синтетического моторного масла $T = 143$ °С.

Критическая температура на 1,9 °С ниже температуры 199 °С, полученной при использовании данных потенциальной тепловой энергии (8), то есть при определении критической температуры можно пользоваться любым из представленных методов определения.

На рисунке 4 представлены зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения, от десятичного логарифма времени и температуры термостатирования исследуемого моторного масла.

Данные зависимости описываются линейными уравнениями:

$$\lg Q_G = 1,8215 \lg t + 2,0; \quad (11)$$

$$\lg Q_G = 1,8 \lg t + 1,7; \quad (12)$$

$$\lg Q_G = 1,78 \lg t + 1,4; \quad (13)$$

$$\lg Q_G = 1,729 \lg t + 1,1, \quad (14)$$

коэффициенты корреляции 0,998.

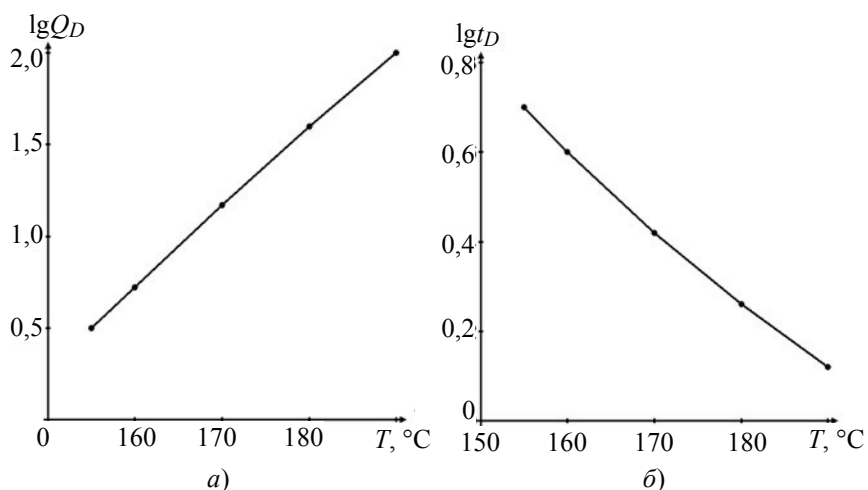


Рис. 3. Зависимости десятичного логарифма времени термостатирования при $\lg Q_D = 0$ (а) и десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления при $\lg t_D = 0,9$ (б), от температуры термостатирования частично синтетического моторного масла

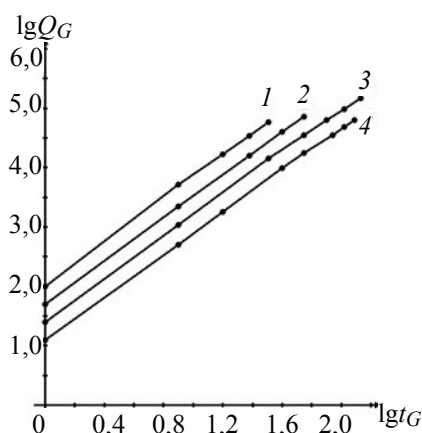


Рис. 4. Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения, от десятичного логарифма времени и температуры термостатирования синтетического моторного масла, °С:
1 – 190; 2 – 180; 3 – 170; 4 – 160

Решая уравнение (15), определяем температуру начала процесса испарения исследуемого моторного масла $T = 118\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура начала процесса испарения определялась по координатам точек пересечения зависимостей (см. рис. 4) с осью ординат, а критическая температура – по значениям десятичного логарифма времени при $\lg Q_G = 2,5$.

По полученным данным строились зависимости десятичного логарифма тепловой энергии и времени термостатирования от температуры термостатирования (рис. 6, а, б).

Данные зависимости описываются линейными уравнениями:

$$\lg Q_G = 0,03064T - 3,821, \quad (16)$$

коэффициент корреляции 0,999;

$$\lg t_G = -0,0173T + 3,573, \quad (17)$$

коэффициент корреляции 0,997.

Решая уравнение (16), определяем температуру начала процесса испарения $T = 124\text{ }^{\circ}\text{C}$; (17) – критическую температуру испарения частично синтетического моторного масла двигателя внутреннего сгорания автомобильной и специальной техники $T = 206\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Установлено, что температура начала процесса испарения, определяемая при $\lg Q_G = 0$, составила $118\text{ }^{\circ}\text{C}$, а измеренная по координатам точек пересечения зависимостей (см. рис. 4) с осью ординат – $124\text{ }^{\circ}\text{C}$, то есть погрешность составила $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это можно объяснить погрешностями измерения массы испарившегося моторного масла двигателя внутреннего сгорания при термостатировании.

Коэффициенты 1,8215, 1,8, 1,78 и 1,729 характеризуют скорость изменения десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения, от температуры термостатирования, а свободные члены уравнений (11) – (14) определяют значения десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения при $\lg t_G = 0$.

На рисунке 5 представлена зависимость десятичного логарифма времени термостатирования исследуемого моторного масла от температуры при $\lg Q_G = 0$.

Данная зависимость описывается линейным уравнением

$$\lg t_G = -0,0154T + 1,828, \quad (15)$$

коэффициент корреляции 0,999.

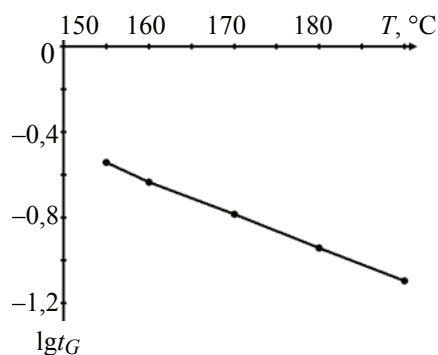


Рис. 5. Зависимость десятичного логарифма времени термостатирования $\lg t_G$ частично синтетического моторного масла от температуры при $\lg Q_G = 0$

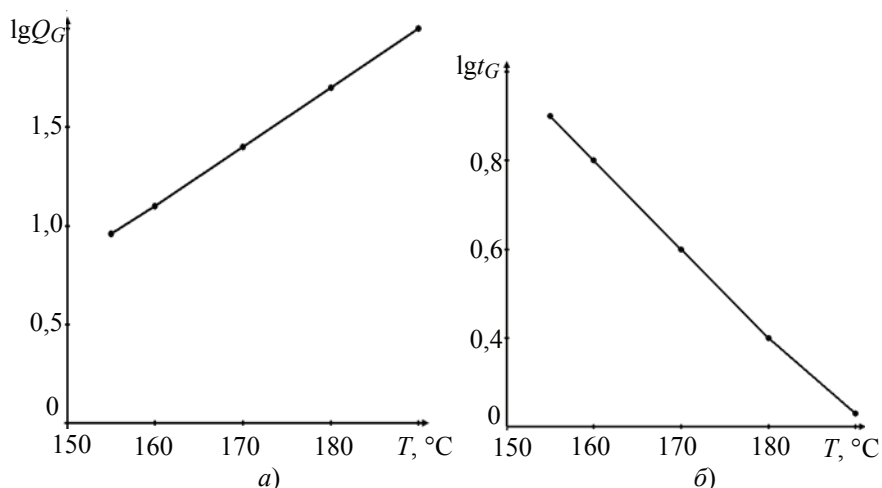


Рис. 6. Зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами испарения при $\lg Q_G = 2,5$ (а), и десятичного логарифма времени термостатирования при $\lg t_G = 0$ (б) от температуры термостатирования частично синтетического моторного масла

Заключение

На основании проведенных исследований температурная область работоспособности исследуемого моторного масла ограничивается температурой 197 °С, которая вычислена для процессов окисления, так как критическая температура испарения моторного масла двигателя внутреннего сгорания составила 202 °С.

Предложенный энергетический метод контроля показателей термоокислительной стабильности позволяет учитывать количество тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления и испарения, определить температуры начала процессов окисления и испарения, критические температуры данных процессов, а также потенциальные тепловые энергии, необходимые для начала процессов окисления и испарения, что расширяет информацию о качестве моторных масел, направленную на совершенствование системы классификации и обоснованного выбора по температурной области работоспособности.

Установлено, что зависимости десятичного логарифма тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления и испарения, от десятичного логарифма времени и температуры термостатирования описываются линейными уравнениями, что способствует сокращению времени испытания моторных масел и реализации прогнозирования показателей термоокислительной стабильности по сокращенной информации.

Установлена потенциальная тепловая энергия, необходимая для начала процессов окисления и испарения, характеризующая сопротивляемость моторных масел температурным воздействиям и служащая критерием для их сравнения и выбора более термостойких.

Список литературы

1. Пат. 2695704 Российская Федерация, МПК G01N 33/30. Способ прогнозирования показателей термоокислительной стабильности смазочных материалов / Ковальский Б. И., Петров О. Н., Шрам В. Г., Лысянникова Н. Н. ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2019112379 ; заявл. 23.04.2019 ; опубл. 25.07.2019, Бюл. № 21. – 2 с.

2. Пат. 2722119 Российская Федерация, МПК G01N 25/02, G01N 25/22, G01N 33/30, G01K 11/00. Способ определения температуры начала изменения показателей термоокислительной стабильности и предельной температуры работоспособности смазочных материалов / Ковальский Б. И., Лысянникова Н. Н. ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2019139741 ; заявл. 04.12.2019 ; опубл. 26.05.2020, Бюл. № 15. – 16 с.

3. Пат. 2741242 Российская Федерация, МПК G01N 33/30. Способ определения соотношения между продуктами температурной деструкции и испарения смазочных масел при термостатировании / Ковальский Б. И., Сокольников А. Н., Петров О. Н., Шрам В. Г. ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2020127000 ; заявл. 11.08.2020 ; опубл. 22.01.2021, Бюл. № 3. – 8 с.

4. Метод контроля изменения тепловой энергии при термостатировании моторных масел / Б. И. Ковальский, В. Г. Шрам, Ю. Н. Безбородов [и др.] // Южно-сибирский научный вестник. – 2020. – № 2(30). – С. 28 – 33.

5. Метод определения энергетической связи между продуктами температурной деструкции минеральных моторных масел / Б. И. Ковальский, В. С. Янович, Ф. А. Исханов [и др.] // Южно-сибирский научный вестник. – 2020. – № 6(34). – С. 260 – 264.

6. Метод определения энергетической связи между продуктами температурной деструкции синтетических моторных масел / Б. И. Ковальский, М. М. Рунда, А. В. Васильев [и др.] // Южно-сибирский научный вестник. – 2020. – № 6(34). – С. 73 – 76.

The Energy Method for Motor Oil Thermal-Oxidation Stability Control

V. S. Yanovich, M. M. Runda, M. V. Akimov

*Department of Rocket and Artillery Weapons, mikhail-akimov-76@mail.ru,
Military Training Center named after Hero of the Russian Federation
named after General of the Army V.P. Dubynin,
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

Keywords: critical temperatures of oxidation and evaporation processes; potential thermal energy; evaporation oxidation products; temperature of the beginning of the processes of oxidation and evaporation; thermal energy; temperature control.

Abstract: The paper presents the results of a study of thermo-oxidative stability indicators, taking into account the thermal energy absorbed by the products of oxidation and evaporation of partially synthetic motor oil TotalQuartz 10W-40 SL/CF, determined by the product of the test temperature for time and the value of optical density or volatility. It has been established that the dependences of the decimal logarithm of the thermal energy absorbed by the products of oxidation or evaporation on the decimal logarithm of the temperature control time are described by linear equations, which makes it possible to determine the temperatures of the beginning of the oxidation and evaporation processes, as well as the critical temperatures of these processes and the potential thermal energies necessary to start the oxidation processes and evaporation characterizing the resistance of the studied oil to temperature influences.

References

1. Koval'skiy B.I., Petrov O.N., Shram V.G., Lysyannikova N.N. *Sposob prognozirovaniya pokazateley termookislitel'noy stabil'nosti smazochnykh materialov* [Method for predicting indicators of thermal-oxidative stability of lubricants], Russian Federation, 2019, Pat. 2695704 (In Russ.).
2. Koval'skiy B.I., Lysyannikova N.N. *Sposob opredeleniya temperatury nachala izmeneniya pokazateley termookislitel'noy stabil'nosti i predel'noy temperatury rabotosposobnosti smazochnykh materialov* [Method for determining the temperature of the beginning of the change in the indicators of thermal-oxidative stability and the limiting temperature of the performance of lubricants], Russian Federation, 2020, Pat. 2722119 (In Russ.).
3. Koval'skiy B.I., Sokol'nikov A.N., Petrov O.N., Shram V.G. *Sposob opredeleniya sootnosheniya mezhdru produktami temperaturnoy destruktssii i ispareniya smazochnykh masel pri termostatirovanii* [Method for determining the ratio between the products of thermal degradation and evaporation of lubricating oils during thermostating], Russian Federation, 2020, Pat. 2741242 (In Russ.).
4. Koval'skiy B.I., Shram V.G., Bezborodov Yu.N., Kravtsova Ye.G., Vereshchagin V.I., Afanasov V.I. [Method for controlling the change in thermal energy during thermostating of motor oils], *Yuzhno-sibirskiy nauchnyy vestnik* [South Siberian Scientific Bulletin], 2020, no. 2(30), pp. 28-33. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Koval'skiy B.I., Yanovich V.S., Iskhanov F.A., Akimov M.V., Anakin M.F. [Method for determining the energy relationship between the products of thermal degradation of mineral motor oils], *Yuzhno-sibirskiy nauchnyy vestnik* [South Siberian Scientific Bulletin], 2020, no. 6(34), pp. 260-264. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Koval'skiy B.I., Runda M.M., Vasil'yev A.V., Akimov M.V., Anakin M.F. [Method for determining the energy relationship between the products of thermal degradation of synthetic motor oils], *Yuzhno-sibirskiy nauchnyy vestnik* [South Siberian Scientific Bulletin], 2020, no. 6(34), pp. 73-76. (In Russ., abstract in Eng.)

Energiemethode zur Überwachung von Indikatoren der thermo-oxidativen Stabilität der Motoröle

Zusammenfassung: Der Artikel präsentiert die Ergebnisse einer Untersuchung der thermo-oxidativen Stabilität unter Berücksichtigung der durch das Oxidations- und Verdampfungsprodukt des teilweise synthetischen Motoröls TotalQuartz 10W-40 SL/CF absorbierten thermischen Energie, die durch das Produkt der Zeittestemperatur und den Wert der optischen Dichte oder Verdampfungsrate bestimmt wird. Es ist festgestellt, dass die Abhängigkeiten des dezimalen Logarithmus der von den Oxidations- oder Verdampfungsprodukten aufgenommenen Wärmeenergie vom dezimalen Logarithmus der Thermostatzeit durch lineare Gleichungen beschrieben werden können, die es ermöglichen, die Temperaturen zu Beginn der Oxidations- und Verdampfungsprozesse sowie die kritischen Temperaturen dieser Prozesse und die potenziellen thermischen Energien zu bestimmen, die zum Starten der Oxidations- und Verdampfungsprozesse erforderlich sind und die Beständigkeit des untersuchten Öls gegenüber Temperatureinflüssen charakterisieren.

Méthode énergétique de contrôle des indicateurs de stabilité à oxydation thermique des huiles de moteur

Résumé: Sont présentés les résultats de l'étude sur la stabilité thermo-oxydante en tenant compte de l'énergie thermique absorbée par les produits d'oxydation et d'évaporation de l'huile moteur partiellement synthétique To-talQuartz 10W-40 SL/CF, déterminée par le produit de la température d'essai pour le temps et la valeur de la densité optique ou de la vaporisabilité. Il est établi que les dépendances du logarithme décimal de l'énergie thermique absorbée par les processus d'oxydation ou d'évaporation à partir du logarithme décimal du temps de thermo-statique sont décrites par des équations linéaires, ce qui permet de déterminer les températures de début des processus d'oxydation et d'évaporation, ainsi que les températures critiques de ces processus et les énergies thermiques potentielles nécessaires au début des processus d'oxydation et d'évaporation caractérisant la résistance de l'huile étudiée aux effets de la température.

Авторы: *Янович Валерий Станиславович* – кандидат технических наук, начальник кафедры Ракетно-артиллерийского вооружения Военного учебного центра; *Рунда Михаил Михайлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры Ракетно-артиллерийского вооружения Военного учебного центра; *Акимов Михаил Викторович* – доцент кафедры Ракетно-артиллерийского вооружения Военного учебного центра, ФГБОУ ВО «Сибирский Федеральный университет», Красноярск, Россия.
