

МЕТОД КОНТРОЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ТЕРМОСТАТИРОВАНИИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Б.И. Ковальский, В.Г. Шрам, Ю.Н. Безбородов, Е.Г. Кравцова, В.И. Верещагин, В.И. Афанасов

Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа, г. Красноярск

Представлены результаты исследования термоокислительной стойкости частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W-40 SL/CF при трех температурах 180, 170 и 160 °С, что позволило определить влияния температуры на процессы окисления. Методика исследования предусматривала применение следующих средств измерения и испытания - прибора для термостатирования смазочных материалов, фотометрического устройства для прямого фотометрирования окисленных масел и электронных весов. Одной из задач исследования является доказательство нестабильности процессов окисления из-за наличия продуктов различной энергоемкости. Представлены зависимости оптической плотности, и испаряемости исследуемого моторного масла от времени окисления. Установлено, что с понижением температуры скорость процессов окисления и испарения уменьшается. Кроме того, существует временная область, в которой процессы окисления не протекают, т. е. существует период сопротивляемости окислению. Предложен метод контроля механизма окисления, заключающийся в оценке приращения скорости окисления, позволяющий определить интенсивность процессов в зависимости от температуры испытания и установить наличие перераспределения тепловой энергии между продуктами окисления и испарения. Установлено два вида продуктов окисления различной энергоемкости, вызывающих изменение термоокислительной стойкости смазочного материала. В результате проведенных исследований показано, что применение приращения скорости изменения оптической плотности, испаряемости и показателя термоокислительной стойкости в процессе окисления смазочных масел, позволяет оценить перераспределение тепловой энергии между продуктами окисления и испарения, а также определить время начала преобразований, их интенсивность, величину оптической плотности и зависимость от температуры испытания.

Ключевые слова: оптическая плотность, термоокислительная стабильность, приращение скорости окисления, испарения и температурных преобразований, потенциальный ресурс.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ работ [1-5] показал, что механизм окисления смазочных масел характеризуется поглощением тепловой энергии, в результате чего образуется два вида продуктов различной энергоемкости, причем первичные продукты являются исходным продуктом для образования вторичных, которые в процессе дальнейшего доокисления переходят в твердые продукты [6-14]. Целью настоящего исследования является доказательство нестабильности процессов окисления из-за наличия продуктов различной энергоемкости.

Методика исследования предусматривала применение следующих средств измерения и испытания - прибора для термостатирования смазочных материалов, фотометрического устройства для прямого фотометрирования окисленных масел и электронных весов.

Испытания моторного масла Роснефть Maximum 10W-40 SL/CF производилось при трех температурах 180, 170 и 160 °С, что позволило определить влияния температуры на процессы окисления.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Технология испытания заключается в следующем: проба масла массой 100 г. Заливается в стеклянный стакан прибора для термостатирования и

испытывались в течении 8-ми часов с перемешиванием стеклянной мешалкой с частотой вращения 300 об/мин. После каждых 8-ми часов испытания проба окисленного масла взвешивалась для определения массы испарившегося масла, отбиралась часть пробы (2 г) для прямого фотометрирования при толщине фотометрируемого слоя 2 мм и определения оптической плотности D

$$D = \frac{\varphi}{\varphi_0} \quad (1)$$

где φ и φ_0 - световой поток падающий на слой масла и прошедший через слой окисленного масла.

Отобранная проба сливалась в стеклянный стакан, который повторно взвешивался. Испытания продолжались до достижения оптической плотности окисленного масла величины 0,7 - 0,8.

Поскольку в процессе окисления изменяется оптическая плотность D и испаряемость G (коэффициент испаряемости K_G), предложен показатель термоокислительной стойкости $\Pi_{\text{тоc}}$, определенный суммой

$$\Pi_{\text{тоc}} = D + K_G \quad (2)$$

$$K_G = \frac{m}{M} \quad (3)$$

где m и M - соответственно масса испарившегося масла за время t , и масса масла после испытаний за время t .

На рис. 1 а и б, представлены зависимости оптической плотности и испаряемости исследуемого моторного масла от времени окисления. Установлено, что с понижением температуры скорость процессов окисления и испарения уменьшается. Кроме того, существует временная область, в которой процессы окисления (рис. 1 а) не протекают, т. е. существует период сопротивляемости окислению.

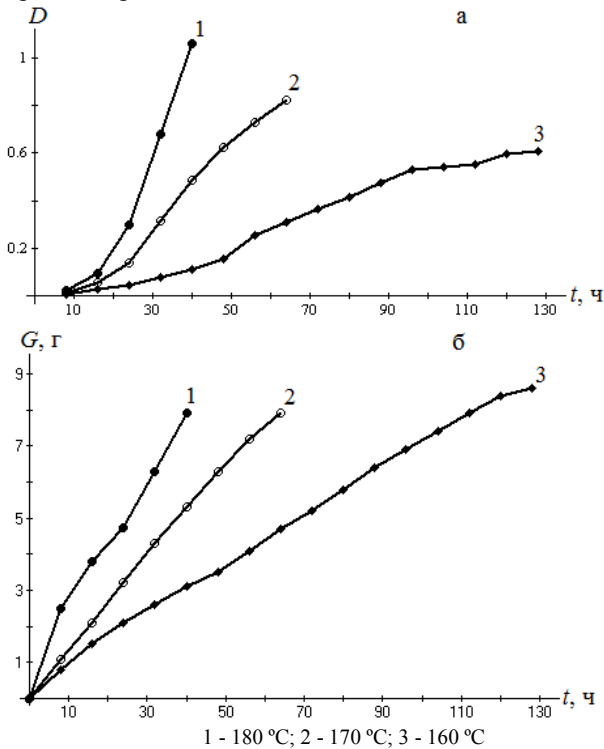


Рис. 1 Зависимости оптической плотности (а) и испаряемости (б): от времени и температуры окисления частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W-40 SL/CF

Анализ зависимостей $D=f(t,T)$ показывает, что они имеют три характерных участка, отличающихся скоростью окисления независимо от температуры испытания, однако продолжительность участков медленного окисления, ускоренного и замедляющегося зависит от температуры испытаний. Так, продолжительность начального участка для температуры 180 °С составляет от 8 до 16 часов, ускоренный участок процесса окисления наступает от 16 до 32 часов, а участок замедленного процесса окисления начинается от 32 до 40 часов. Однако для температуры испытания 160 °С (кривая 3) продолжительность первого участка ограничивается временем 48 часов, второго - 96 часами, а третьего - 128 часами.

Анализ зависимостей $G=f(t,T)$ показывает, что скорость испарения зависит от температуры испытания, однако при температуре 180 °С она в начале испытания стремится к уменьшению (время до 24 ч), а затем к увеличению. Для температур 170 и 160

°С испаряемость уменьшается монотонно. Поэтому для оценки влияния температуры испарения на процессы окисления и испарения предложен показатель потенциального ресурса (рис. 2), определяемый временем достижения значения оптической плотности или испаряемости определенного значения. Так, с понижением температуры испытания от 180 до 170 °С потенциальный ресурс по оптической плотности и испаряемости увеличивается в 1,52 раза, а с понижением температуры испытания от 170 до 160 °С потенциальный ресурс по оптической плотности увеличивается в 2,2 раза, а по испаряемости в 1,74 раза.

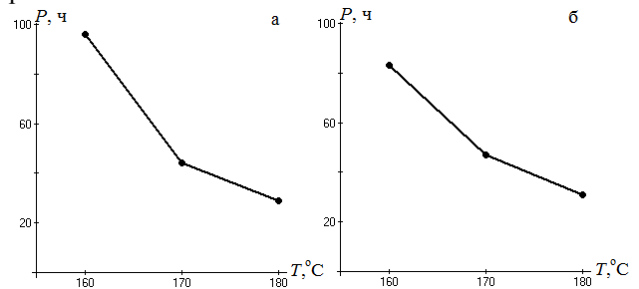


Рис. 2 Зависимости потенциального ресурса по оптической плотности ($D=0,6$) (а) и испаряемости ($G=6$ г) (б) от температуры окисления частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W-40 SL/CF

Таким образом, исследуемое масло может применяться в двигателях, температурные условия эксплуатации которого должны быть ниже 170 °С.

При испытании моторного масла процессы окисления и испарения протекают одновременно, поэтому они определяют термоокислительную стойкость, характеризующую количество тепловой энергии поглощенной маслом, в результате которой образуются продукты окисления и испарения (рис. 3). Если учесть, что скорость процессов окисления и испарения непостоянна, то механизм окисления должен объясняться концентрацией продуктов окисления и температурной деструкции. В этой связи предлагается исследовать изменение приращений скоростей изменения оптической плотности, испаряемости и показателя термоокислительной стойкости.

На рис. 4 представлены зависимости приращения скорости оптической плотности от времени и температуры окисления исследуемого масла. Установлено, что при температуре 180 °С в период времени до 32 часов зависимость описывается полиномом второй степени, а в промежуток времени от 32 до 40 часов скорость приращения оптической плотности резко уменьшается. Поскольку при окислении образуются два вида продуктов окисления различной энергоёмкости, то можно предположить, что за период времени до 32 часов одновременно

образуется как первичные продукты, которые сразу переходят во вторичные более энергоемкие.

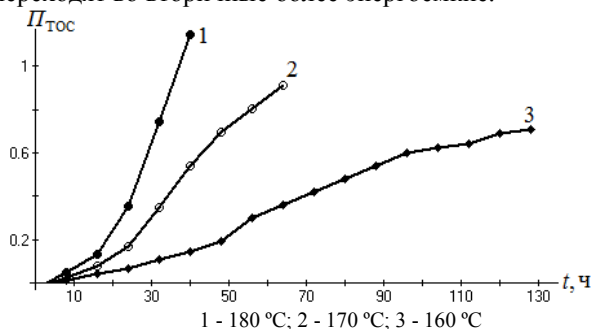


Рис. 3 Зависимости показателя термоокислительной стойкости от времени и температуры испытания частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W-40 SL/CF

В период времени от 32 до 40 часов концентрация первичных продуктов резко уменьшается, вызывая уменьшение скорости образования вторичных продуктов, которые в этот период времени доокисляются и увеличивают оптическую плотность (см. рис. 1 а).

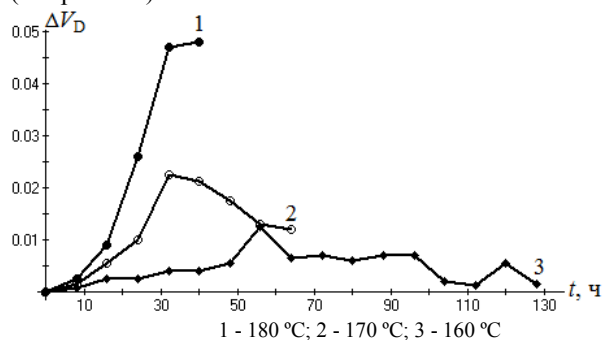


Рис. 4. Зависимости приращения скорости изменения оптической плотности от времени и температуры окисления частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W-40 SL/CF

При температуре 170 °C кривая 2 за период времени до 32 часов приращения скорости изменения оптической плотности происходит за счет увеличения концентрации первичных продуктов окисления, но с увеличением времени испытания первичные продукты преобразуются во вторичные, при этом концентрация первичных продуктов уменьшается, а вторичных увеличивается, причем с уменьшением концентрации первичных продуктов окисления, приращение скорости образования вторичных продуктов уменьшается, при этом скорость изменения оптической плотности замедляется (см. рис. 1 а).

Аналогичная картина наблюдается при испытании масла при температуре 160°C (кривая 3), однако процессы перераспределения тепловой энергии между продуктами окисления значительно замедляются.

На рис. 5 представлены зависимости приращения скорости испарения исследуемого масла

от времени и температуры испытания. Так, для температуры 180 °C (кривая 1) в начале термостатирования масла установлено резкое уменьшение приращения скорости испарения, что может объясняться наличием в товарном масле легких фракций. В период времени от 16 до 32 часов установлена стабилизация процесса испарения, а дальнейшее увеличение времени испытания приводит к увеличению приращения скорости испарения, что подтверждается зависимостью $G=f(t,T)$ (см. рис. 1 б).

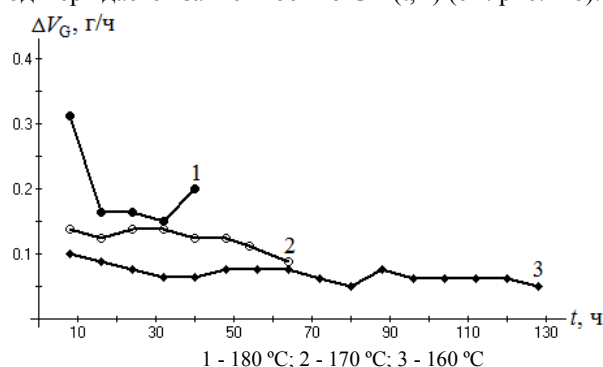


Рис. 5. Зависимости приращения скорости испарения от времени и температуры окисления частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W-40 SL/CF

Для температур 170 и 160 °C установлено незначительное колебание приращение скорости испарения.

На рис. 6 представлены зависимости приращения скорости изменения показателя термоокислительной стойкости от времени и температуры испытания исследуемого масла, которые учитывают совместно процессы окисления и испарения. Сравнивая данные зависимости с данными (рис. 4) установлено незначительное расхождение, поэтому механизм окисления будет аналогичен описанному выше.

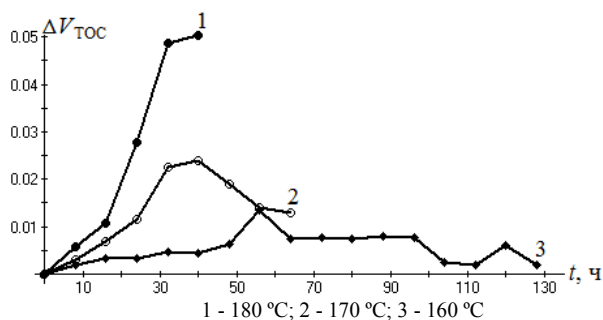


Рис. 6. Зависимости скорости приращения показателя термоокислительной стойкости от времени и температуры окисления частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W-40 SL/CF

На рис. 7 представлены зависимости приращения скорости изменения показателя термоокислительной стойкости от оптической плотности и температуры

испытания, что устанавливает связь между этими показателями.

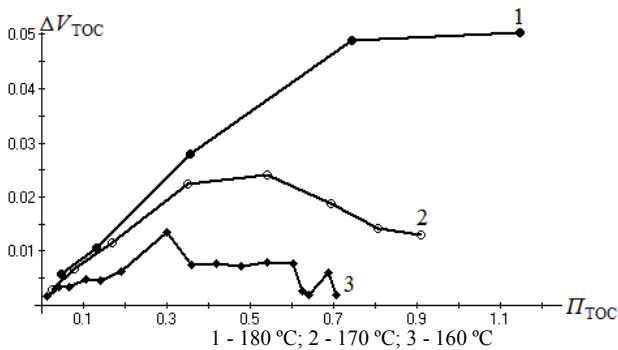


Рис. 7. Зависимости приращения скорости изменения показателя термоокислительной стойкости от оптической плотности и температуры окисления частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W-40 SL/CF

Показано, что при температуре испытания 180 °C (кривая 1) увеличение приращения скорости изменения показателя термоокислительной стойкости происходит до значения оптической плотности 0,74, а дальнейшее ее увеличение значительно уменьшает скорость приращения $\Delta V_{\text{час}}$ за счет уменьшения концентрации первичных продуктов и доокисления вторичных.

При температуре 170 °C (кривая 2) при оптической плотности 0,35 наступает резкое уменьшение скорости приращения $\Delta V_{\text{час}}$, а при оптической плотности 0,54 и более скорость приращения уменьшается от величины 0,024 до 0,0125 за счет доокисления вторичных продуктов. Доокисление вторичных продуктов установлено центрифугированием окисленных масел осадок при этом изменяется с увеличением оптической плотности от светло-коричневого до темного цвета.

При температуре 160 °C (кривая 3) процессы окисления и испарения протекают с меньшей скоростью, кроме того установлено три участка зависимости с падением приращения скорости изменения показателя $P_{\text{час}}$ при оптической плотности 0,3; 0,6 и 0,69, а также участок, где приращение стабилизируется за счет доокисления вторичных продуктов окисления.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований показано, что применение приращения скорости изменения оптической плотности, испаряемости и показателя термоокислительной стойкости в процессе окисления смазочных масел, позволяет оценить перераспределение тепловой энергии между продуктами окисления и испарения, а также определить время начала преобразований, их интенсивность, величину оптической плотности и зависимость от температуры испытания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Термоокислительная стабильность трансмиссионных масел: монография/ Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, Л. Н. Фельдман, Н. Н. Малышева. - Красноярск: Сибирский Федеральный университет, 2011. - 150 с.
2. Черножуков Н. И. Окисляемость минеральных масел/ Н. И. Черножуков, С. Е. Крейн. - М.; Л.: Госгортехиздат. 1995. - 37 с.
3. Ковальский Б. И. Результаты контроля термической стабильности трансмиссионных масел различной базовой основы/ Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, В. С. Янович, Н. Н. Малышева, А. В. Юдин// Контроль. Диагностика №4 (190), 2014. с. 74-76.
4. Ковальский Б. И. Результаты испытания частично синтетических моторных масел на термоокислительную стабильность/ Б. И. Ковальский, О. Н. Петров, В. Г. Шрам, В. С. Янович// Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. М., 2014, №7. с. 23-28.
5. Ковальский Б. И. Метод контроля процессов окисления моторных масел различной базовой основы/ Б. И. Ковальский, А. Н. Сокольников, О. Н. Петров, В. Г. Шрам, Д. В. Агровиченко // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. №2, 2016, с. 21-26.
6. Анисимов И. Г. Топлива. Смазочные материалы, технические жидкости/ И. Г. Анисимов, К. М. Бадыштова, С. А. Бнатов. – Москва: Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596 с.
7. Балтенас Р. Моторные масла/ Р. Балтенас, А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. Шергалис. – СПб: Альфа – Лаб, 2000. – 272 с.
8. Гуреев А. А. Химмотология/ А. А. Гуреев, И. Г. Фук, В. Л. Лашхи. – Москва: Химия, 1986. – 368 с.
9. Венцель С. В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания/ Венцель С. В. – Москва: Химия, 1979. – 240 с.
10. Кламанн Д. Н. Смазки и родственные продукты/ Кламанн Д. Н. – Москва: Химия, 1960. – 304 с.
11. Резников В. Д. Зарубежные масла, смазки, присадки, технические жидкости/ В. А. Резников. – Москва: Паритет – Граф, 2000. – 343 с.
12. Ковальский Б. И., Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов/ Б.И. Ковальский. – Новосибирск: Наука, 2005. – 341 с.
13. Хомайко В.В. Исследование термоокислительной стабильности минерального масла М-10Г2к и его смеси с 5% синтетического Castrol 0W-30 SL/CF / В.В. Хомайко, Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов // Вестник КрасГАУ. Выпуск 6 – Красноярск. 2007. С 174-183.
14. Ковальский Б.И. Метод контроля влияния процессов температурной деструкции на процессы окисления и триботехнические характеристики окисленных минеральных моторных масел / Ковальский Б.И., Агровиченко Д.В., Шрам В.Г., Петров О.Н. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 11-2. С. 216-225.

Ковальский Болеслав Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(913)5111745, e-mail: labsm@mail.ru

Шрам Вячеслав Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(950)4014163, e-mail: Shram18rus@mail.ru

Безбородов Юрий Николаевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой топливообеспечения и горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(902)9820488, e-mail: labsm@mail.ru

Верещагин Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации газонефтепроводов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ,

тел.

8(923)3732250,

e-mail: valeri-2502@mail.ru

Кравцова Екатерина Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(913)0333528,

e-mail: rina_986@mail.ru

Афанасов Владимир Ильич – старший преподаватель кафедры машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов, Институт нефти и газа ФГАОУ ВО СФУ, тел. 8(904)8933388,

e-mail: skg63@mail.ru

METHOD FOR MONITORING CHANGE IN THERMAL ENERGY AT THERMOSTATING ENGINE OILS

B.I. Kovalsky, V.G. Shram, Yu.N. Bezborodov, E.G. Kravtsova, V.I. Vereshchagin, V.I. Afanasov

Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas, Krasnoyarsk

Abstract – The results of a study of the thermal-oxidative stability of Rosneft Maximum 10W-40 SL/CF partially synthetic engine oil at three temperatures of 180, 170 and 160 °C are presented, which made it possible to determine the effect of temperature on oxidation processes. The research methodology provided for the use of the following measuring and testing tools - a device for thermostating of lubricants, a photometric device for direct photometry of oxidized oils and electronic scales. One of the objectives of the study is to prove the instability of oxidation processes due to the presence of products of different energy intensity. The dependences of the optical density and volatility of the studied engine oil on the oxidation time are presented. It was found that with decreasing temperature, the rate of oxidation and evaporation decreases. In addition, there is a temporary region in which oxidation processes do not occur, i.e., there is a period of resistance to oxidation. A method for controlling the oxidation mechanism is proposed, which consists in assessing the increment of the oxidation rate, which allows one to determine the intensity of the processes depending on the test temperature and to establish the presence of redistribution of thermal energy between the products of oxidation and evaporation. Two types of oxidation products of different energy intensity, causing a change in the thermo-oxidative stability of the lubricant, have been established. As a result of the studies, it was shown that the use of the increment in the rate of change in optical density, volatility, and the indicator of thermo-oxidative stability in the process of oxidation of lubricating oils allows one to evaluate the redistribution of thermal energy between the products of oxidation and evaporation, as well as to determine the time of the onset of transformations, their intensity, optical density and temperature dependent test.

Index terms: optical density, thermo-oxidative stability, increment of the rate of oxidation, evaporation and temperature transformations, potential resource.

REFERENCES

1. Thermo-oxidative stability of gear oils: monograph / B. I. Kovalsky, Yu. N. Bezborodov, L. N. Feldman, N. N. Malysheva. - Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2011. - 150 p.
2. Chernozhukov N.I. Oxidation of mineral oils / N.I. Chernozhukov, S.E. Krein. - M.: Gosgortekhzdat. 1995. -- 37 p.
3. Kovalsky B.I. Results of monitoring the thermal stability of gear oils of various basic bases / B.I. Kovalsky, Yu. N. Bezborodov, V. S. Yanovich, N. N. Malysheva, A. V. Yudin // *Control. Diagnostics* No. 4 (190), 2014. p. 74-76.
4. Kovalsky B. I. Results of testing partially synthetic motor oils for thermal oxidative stability / B. I. Kovalsky, O. N. Petrov, V. G. Shram, V. S. Yanovich // *World of Petroleum Products. Bulletin of oil companies*. M., 2014, No. 7. with. 23-28.
5. Kovalsky B. I. Method for monitoring the processes of oxidation of motor oils of various basic bases / B. I. Kovalsky, A. N. Sokolnikov, O. N. Petrov, V. G. Shram, D. V. Agrovichenko // *World of Petroleum Products. Bulletin of oil companies*. No. 2, 2016, p. 21-26.
6. Anisimov I. G. Fuel. Lubricants, technical fluids / I. G. Anisimov, K. M. Badyshtova, S. A. Bnatov. - Moscow: Publishing Center "Techninform", 1999. - 596 p.
7. Baltenas R. Motor oils / R. Baltenas, A. S. Safonov, A. I. Ushakov, V. Shergalis. - St. Petersburg: Alpha Lab, 2000. -- 272 p.
8. Gureev A. A. Chemotology / A. A. Gureev, I. G. Fook, V. L. Lashkhi. - Moscow: Chemistry, 1986. - 368 p.
9. Wenzel S.V. Application of lubricating oils in internal combustion engines / Wenzel S.V. - Moscow: Chemistry, 1979. - 240 p.
10. Klamann D. N. Lubricants and related products / Klamann D. N. - Moscow: Chemistry, 1960. - 304 p.
11. Reznikov V. D. Foreign oils, lubricants, additives, technical fluids / V. A. Reznikov. - Moscow: Parity - Graf, 2000. -- 343 p.
12. Kovalsky B. I., Methods and means of increasing the efficiency of the use of lubricants / B.I. Kowalski. - Novosibirsk: Nauka, 2005. -- 341 p.
13. Khomaiko V.V. Investigation of the thermal-oxidative stability of mineral oil M-10G2k and its mixture with 5% synthetic Castrol 0W-30 SL / CF / V.V. Khomaiko, B.I. Kovalsky, Yu.N. Bezborodov // *Bulletin of the KrasGAU*. Issue 6 - Krasnoyarsk. 2007. From 174-183.
14. Kovalsky B.I. A method for controlling the influence of temperature destruction processes on oxidation processes and tribological characteristics of oxidized mineral motor oils / Kovalsky B.I., Agrovichenko D.V., Shram V.G., Petrov O.N. // *Bulletin of Tula State University*. Technical science. 2014. No. 11-2. S. 216-225.

Kovalsky Boleslav Ivanovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Fuel Supply and Combustive-Lubricating Materials, Institute of Oil and Gas, FSAEI of Siberian Federal University, tel. 8 (913) 5111745, e-mail: labism@mail.ru

Shram Vyacheslav Gennadievich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Fuel Supply and Combustive-Lubricating Materials, Institute of Oil and Gas, FSAEI of Siberian Federal University, tel. 8 (950) 4014163, e-mail: Shram18rus@mail.ru

Bezborodov Yuri Nikolaevich - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Fuel Supply and Combustive-Lubricating Materials, Institute of Oil and Gas, FSAEI of Siberian Federal University, Tel. 8 (902) 9820488, e-mail: labism@mail.ru

Vereshchagin Valery Ivanovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Operation of Gas and Oil Pipelines, Institute of Oil and Gas FSAEI of Siberian Federal University, tel. 8 (923) 3732250, e-mail: valeri-2502@mail.ru

Kravtsova Ekaterina Gennadievna - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Fuel Supply and Combustive-Lubricating Materials, Institute of Oil and Gas, FSAEI of Siberian Federal University, Tel. 8 (913) 0333528, e-mail: rina_986@mail.ru

Afanasov Vladimir Ilyich - Senior Lecturer, Department of Machinery and Equipment for Oil and Gas Fields, Institute of Oil and Gas FSAEI of Siberian Federal University, tel. 8 (904) 8933388, e-mail: skg63@mail.ru